

**北京同步辐射装置
X 射线成像技术及图像后处理讲习班**

会议资料

中国科学院高能物理研究所
北京正负电子对撞机国家实验室

2013 年 11 月 21—22 日 北京

前 言

近年来,同步辐射 X 射线成像用户数量和成像技术均获得了快速发展。为了集中解决 X 射线成像实验技术和图像后处理中的共性问题,我们计划于 2013 年 11 月 21 日—22 日举办一期“北京同步辐射装置 X 射线成像技术及图像后处理讲习班”。原计划招收 50 名学员,实际报名人数 202 人,我们尽最大可能把讲习班的规模扩大到了 101 人。在此,向所有报名的学员表示衷心感谢!

根据学员的要求,我们提前把会议相关资料编印成册,以方便学员更好地学习研讨。

祝学员们在本次讲习班中研讨愉快!

讲习班组委会

二〇一三年十一月十八日

讲习班信息

一、讲习班时间地点

时间：2013 年 11 月 21-22 日

地点：中国科学院高能物理研究所 主楼 C305 阶梯教室

二、讲习班组织资助部门

中国高等科学技术中心

中关村物质科学大型仪器区域中心

北京正负电子对撞机国家实验室，北京同步辐射装置

中国物理学会同步辐射专业委员会

三、讲习班组委会

胡天斗、朱佩平、袁清习、黄万霞、张凯、何伟

讲习班日程安排

时 间	讲习班内容（各专题时间点）	主讲人
2013 年 11 月 21 日 8: 00-8: 30 报到		
2013 年 11 月 21 日		
8:30-8:40	领导讲话	
8:40-10:10	X 射线成像基本原理（一）	朱佩平
10:10-10:40	休息、合影	
10:40-11:40	X 射线成像应用简介	袁清习
11:40-12:00	讨论	
12:00-13:30	午餐	
13:30-14:10	BSRF X 射线成像技术介绍	黄万霞
14:10-14:30	讨论	
14:30-15:30	衍射增强成像实验方法、DEIReconstructor 软件使用	张 凯
15:30-16:00	讨论	
16:00-16:10	休息	
16:10-17:10	纳米成像样品制备、数据采集及处理	黄万霞
17:10-17:30	讨论	
17:30	晚餐	
2013 年 11 月 22 日		
8:30-9:30	X 射线成像基本原理（二）	朱佩平
9:30-9:50	讨论	
9:50-10:30	Avizo 基础知识	张 凯
10:30-10:40	休息	
10:40-11:40	动物形态学成像应用及数据处理	李德娥
11:40-12:00	讨论	
12:00-13:30	午餐	
13:30-14:30	Avizo 软件三维可视化应用	张 凯
14:30-14:40	讨论	
14:40-14:50	休息	
14:50-15:50	Avizo 软件在图像分割中的应用介绍	张 凯
15:50-16:20	讨论	
16:20-17:30	自由研讨及实验站参观	

讲习班学员名单

序号	姓名	单位	学科专业	职称	邮件地址
1	李 岑	中科院西北高原生物研究所	藏药重金属毒理	博士生	lxwei@nwipb.cas.cn
2	金 婵	中科院上海应用物理研究所	纳米成像技术	副研	jinchao@sinap.ac.cn
3	汪丽华	中科院上海应用物理研究所	同步辐射技术及应用	助研	lhwan@sinap.ac.cn
4	何 月	中科院山西煤化所	物理化学	研实员	heyue@sxicc.ac.cn
5	夏琛琛	上海市第十人民医院	影像学	研究生	chenchenprecious1@aliyun.co
6	于迎涛	大连海事大学	物理化学	副教授	yyt99@mails.tsinghua.edu.cn
7	曹 飞	大连理工大学	材料加工工程	博士生	caozhifei2007@163.com
8	谈 高	南方医科大学附属珠海医院	医学影像学		tancungao@163.com
9	张艳峰	河北师范大学	化学	教授	zhangyanfeng@mail.hebtu.edu.
10	赵亚硕	河北师范大学	生理学	博士生	zys870207@126.com
11	耿丽娜	河北师范大学	河北师范大学	讲师	genglina0102@126.com
12	孙继兵	河北工业大学	材料学	教授	hbgdsjb@126.com
13	刘成林	盐城师范学院	物理学		lclyctc@163.com
14	肖冠军	吉林大学	凝聚态物理	讲师	xguanjun@gmail.com
15	黄晓莉	吉林大学	凝聚态物理	博士生	xlhuang08@mails.jlu.edu.c
16	黄艳萍	吉林大学	凝聚态物理	博士生	huangyp1124@163.com
17	王声翔	中国科技大学	核科学技术	硕士生	wsx231@mail.ustc.edu.cn
18	鲍 园	中国科技大学	光学	博士生	baoyuan200763@126.com
19	李 灿	中国石油大学（华东）	化学工程与技术	硕士生	sunnylican@126.com
20	单新然	天津大学	材料学	博士生	541037030@qq.com
21	蔡昊成	天津大学	微电子与固体电子学	博士生	734575468@qq.com
22	兰孝征	山东农业大学	物理化学	教授	lanxzh@sda.edu.cn
23	兰子鉴	南开大学	凝聚态物理	研究生	jackiemind@163.com
24	殷 辉	华中农业大学	环境科学	讲师	yinhui666@mail.hzau.edu.cn
25	聂 敏	四川大学	高分子材料与工程	讲师	poly.nie@gmail.com
26	梁永日	中国科学院化学研究所	高分子物理	副研	liangyr@iccas.ac.cn
27	国 霞	中国科学院化学研究所	高分子化学与物理	博士生	guoxia@iccas.ac.cn
28	何 畅	中国科学院化学研究所	物理化学	副研	hechang@iccas.ac.cn
29	张茂杰	中国科学院化学研究所	高分子化学与物理	助研	zmj2008@iccas.ac.cn
30	毛祖攀	中国科学院化学研究所	有机化学	博士生	maozp@iccas.ac.cn
31	刘晓彤	中国科学院化学研究所	化学	硕士生	liuxiaotong624@163.com
32	朱腾飞	中科院微生物研究所	结构免疫学	博士生	zhutengfei_42@163.com
33	王奇慧	中科院微生物研究所	生物化学与分子生物学	博士后	wangqihui1001@163.com
34	李 燕	中科院微生物研究所	生物化学与分子生物学	研实员	sxpgly@163.com
35	蔡彦朋	中科院动物研究所	甲虫物种分化与系统学	博士生	caiyanpeng@ioz.ac.cn
36	周广东	中国科学院地理科学与资源研	环境科学	博士生	zgd_211985@163.com
37	邓力维	中科院地质与地球物理研究所	地球科学	副研	dengliwei@mail.iggcas.ac.cn
38	肖林红	中国科学院理化技术研究所	高分子材料	博士生	xiaolinhong12b@mails.guc
39	高晓勇	中国科学院过程工程研究所	材料科学与工程		15101180939@163.com
40	贾 彩	中国科学院过程工程研究所	应用化学	副研	cj@home.ipe.ac.cn
41	耿艳荣	中国科学院过程工程研究所	化学工程	研究生	yrgeng@home.ipe.ac.cn

42	叶 茂	中科院声学研究所	压电陶瓷材料	助研	yemao01@gmail.com
43	张 莘	中国科学院生态环境研究中心	环境科学	助研	xinzhang@rcees.ac.cn
44	罗 磊	中国科学院生态环境研究中心	环境科学	副研	leiluo@rcees.ac.cn
45	贺林峰	中国原子能科学研究院	凝聚态物理	博士生	hlf1212@sina.com
46	武梅梅	中国原子能科学研究院	中子及 X 射线成像	副研	mmwu@ciae.ac.cn
47	韩松柏	中国原子能科学研究院	中子照相	副研	hansb@ciae.ac.cn
48	王小庆	中国农业科学院农业资源与农 业区划研究所	环境科学	讲师	wangxq@sina.com
49	万初斌	北京科技大学	材料物理	讲师	cbwan@ustb.edu.cn
50	李 强	北京科技大学	冶金物理化学	博士生	yejinliqiang@163.com
51	孟宪赫	北京科技大学	物理学	博士生	mengxhe@163.com
52	谭茂金	中国地质大学(北京)	地球探测信息技术	副教授	tanmj@cugb.edu.cn
53	吴秀文	中国地质大学(北京)	材料物理	教授	wuxw2008@163.com
54	李小诗	中国科学院大学	构造地质学	博士后	lixiaoshi4656@126.com
55	徐志双	中国科学院大学	固体地球物理学	博士生	xuzhishuang11@mails.ucas.ac.c
56	马麦宁	中国科学院大学	固体地球物理学	副教授	mamn@ucas.ac.cn
57	周晓亚	中国科学院大学	固体地球物理学	博士生	zhouxiaoya10@mails.ucas.ac.cn
58	方晓阳	中国科学院大学	科技史与科技考古	教授	fangxiaoyang@ucas.ac.cn
59	丁曼旎	中国科学院大学	科学技术史	硕士生	dingmanni12@mails.ucas.ac.cn
60	游海涛	中国科学院大学	地质学	讲师	youht@ucas.ac.cn
61	王国昌	中国科学院大学	能源地质学	博士后	w.guochang@gmail.com
62	向书芹	中国科学院大学	生物化学与分子生物学	硕士生	xiangshuqin12@mails.ucas.ac.c
63	任辉辉	中国科学院大学	高分子物理与化学	硕士生	renhuihui13@mails.ucas.ac.cn
64	李 卓	中国石油大学(北京)	矿产普查与勘探	讲师	lz830706@yahoo.cn
65	余子敬	中国石油大学(北京)	化学工程	硕士生	435770545@qq.com
66	马 勇	中国石油大学(北京)	油气地球化学	博士生	Mayong0724@126.com
67	任志明	北京化工大学	化学工程与技术	博士生	renzhilight@163.com
68	刘志明	北京化工大学	环境科学与工程	副教授	liuzm@mail.buct.edu.cn
69	李 辉	北京大学医学部	医学成像及图像处理	副教授	wllhui@bjmu.edu.cn
70	成枫锋	北京师范大学	核固体物理/离子束材料	讲师	ffcheng@bnu.edu.cn
71	孙蔚渊	北京师范大学	核技术及应用	硕士生	stx@bnu.edu.cn
72	汪明月	北京航空航天大学	材料科学与工程	博士后	wangmy07@mails.thu.edu.cn
73	高 红	北京航空航天大学	凝聚态物理	实验师	Gaohong@buaa.edu.cn
74	王 柳	北京航空航天大学	材料科学与工程	博士生	lodiacydb@126.com
75	山 磊	清华大学	机械工程	博士生	shanlei88@gmail.com
76	李 政	清华大学	核技术及应用	副教授	lizheng@mail.tsinghua.edu.cn
77	于 游	清华大学	结构生物学	博士生	yuyou12@mails.tsinghua.e
78	赖晓晴	中石油钻井工程技术研究院	油田应用化学		xqlai@126.com
79	金 旭	中国石油勘探开发研究院	材料化学	工程师	jinxu@petrochina.com.cn
80	李建明	中国石油勘探开发研究院	物理化学	工程师	Lijm02@petrochina.com.cn
81	王 鹏	石油化工科学研究院	石油化工	高级工	wangpeng.ripp@sinopec.com
82	唐毓婧	中石化北京化工研究院	高分子材料	高工	tangyj.bjhy@sinopec.com
83	任敏巧	中石化北京化工研究院	高分子材料	高工	renmq.bjhy@sinopec.com
84	孙程成	中国医学科学院北京协和医院	耳鼻咽喉科学	住院医	sunsunsunny@yeah.net

85	汲云涛	中国地震局地质研究所	固体地球物理, 岩石物理	助研	jiyuntao@gmail.com
86	吴葛铭	首都医科大学	生物医学工程	讲师	gemingwu@ccmu.edu.cn
87	杨 帅	北京航空航天大学	材料物理与化学	博士生	yangshuai@tju.edu.cn
88	贺雅旭	北京航空航天大学	化学	硕士生	heyx90@sina.com
89	马晓燕	北京航空航天大学	化学	硕士生	mxy2008142090@163.com
90	谭园园	北京科技大学	材料科学与工程	博士生	tanyy@ihep.ac.cn
91	王黎明	中科院高能所	物理化学	助研	Wangliming@ihep.ac.cn
92	陈 雨	中科院高能所	凝聚态物理	副研	Chen_yu@ihep.ac.cn
93	杨 静	中科院高能所	凝聚态物理	博士生	Yangjing10@ihep.ac.cn
94	马玲玲	中科院高能所	环境科学	副研	malingling@ihep.ac.cn
95	刘 琰	中科院高能所	粒子物理与原子核物理	博士生	liulong@ihep.ac.cn
96	高学云	中科院高能所	生物无机化学	研究员	gaoxy@ihep.ac.cn
97	李卓昕	中科院高能所	核技术应用	副研	lizhx@ihep.ac.cn
98	高 靛	中科院高能所	生物无机化学	博士后	gaoliang@ihep.ac.cn
99	王艳萍	中科院高能所	凝聚态物理	研究生	wangyanping@ihep.ac.cn
100	李 琨	中科院高能所	凝聚态物理	博士生	Likun@ihep.ac.cn
101	胡仁芳	中国科技大学	同步辐射及应用	硕士生	hurf@mail.ustc.edu.cn

讲习班课件

目 录

X 射线成像基本原理（一）	11
X 射线成像应用简介	25
北京同步辐射装置 X 射线成像技术介绍	35
衍射增强 CT 的实验方法和数据处理	41
纳米成像样品制备、数据采集及处理	53
X 射线成像基本原理（二）	63
Avizo 软件的基础知识	83
昆虫形态学成像应用及数据处理	91
Avizo 软件的动画制作	113
Avizo 软件的数据分析和图像分割	121

X 射线成像的一些基本知识

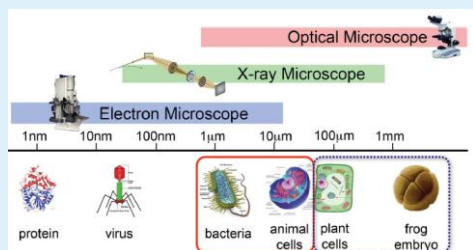
朱佩平

2013年11月21日

成像的目的和意义

- 眼睛是人类感知世界最重要的器官，眼睛本身是一台发展完美的成像光学仪器。
- 人类研制的各种成像光学仪器，如望远镜、显微镜、照相机、雷达、医院里检查人体的X光透视设备、安检入口的危险物品检测设备等，都是人类眼睛的延伸，是人类遥望星空，观察微观世界，留下美好回忆，保证身体健康、建设安全生活环境不可或缺的工具。
- 科学发展无止境，成像研究也不会结束，需要不断研究成像的原理，需要研制出功能更强大的工具。

成像所涉及的领域



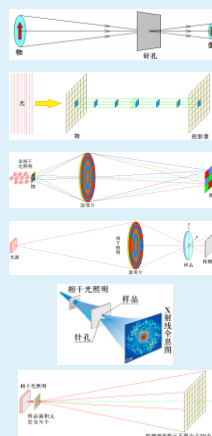
- 从声波、电磁波到电子波，波长从小于纳米到大于毫米，虽然本讲座主要讲同步辐射X射线成像，但是其中的一些原理和研究方法具有相当的普遍性。

成像的目的

- 尽可能逼真地获取物体图像；
- 二维成像就是从—个方向看物体，在数学上就是把物体描述为二维坐标函数；
- 三维成像就是从多个方向看物体，在数学上就是把多个不同方向的二维函数变成三维坐标函数，这个数学过程叫重建；
- 观察物体内部任意剖面图像，又称为断层成像，在数学上就是让三维函数中的一维坐标成为常数。

描述成像的参数

- 分辨率：能分辨单位长度上的线对数；
- 分辨力：能分辨最小间距。
- 衬度：信号和背景的差别，有差别才能形成图像。衬度定义：
$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$
- 衬度种类：吸收衬度，相位衬度，荧光衬度等。



针孔成像

投影成像

透镜(波带片)成像

微探针扫描成像

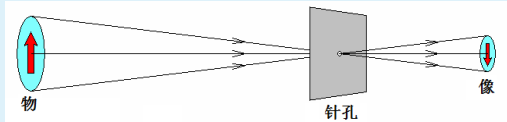
全息成像
(干涉成像)

相干衍射成像
(自干涉成像)

多种X射线成像列举

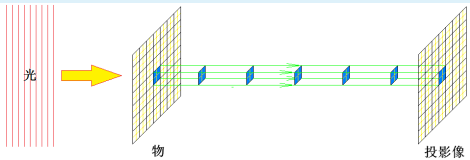
针孔成像

- 2300年前，战国时代，墨子提出针孔成像原理。针孔成像是分析其它成像的基础。



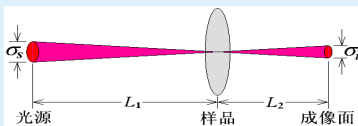
- 墨子的时代，中国是先进国家，近一二百年，中国落后了，本讲座介绍的成像方法，基本上是外国人发明的。
- 近几十年，中国发展突飞猛进，在成像科学上也是如此，本讲座会介绍一些中国人的贡献。

X射线投影成像



根据粒子性建立投影成像模型

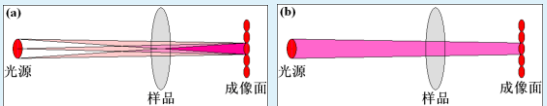
- X射线光源都有一定直径，是多个点光源的集合，光源中任意一点的发光都是独立的。同理，样品是多个物点的集合。
- 在X射线投影成像中，既存在多个点光源照射一个物点的过程，又有一个点光源照射多个物点的过程。
- 先研究整个光源照射一个物点的过程：



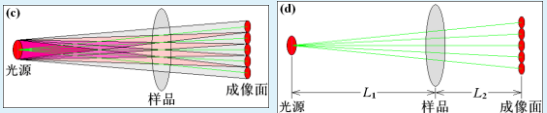
- 一个物点被扩散为一个光斑，称为点扩散斑，光斑直径与光源直径成正比。由此可知，投影成像不可能分辨比点扩散斑更小的间隔。（针孔成像原理）

根据粒子性建立投影成像模型

- 再研究整个光源照射一个点扩散斑的过程，可以看到，从光源到点扩散斑，形成一条输送光子的管道。

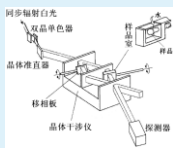
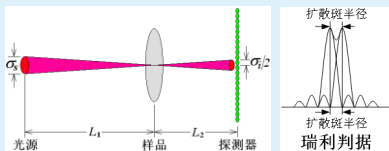


- 如果以点扩散斑为分辨单元，对成像面进行分割，则存在多条输送光的管道。若将从光源到物点扩散斑的管道抽象成一根光线，则可建立投影成像的模型。

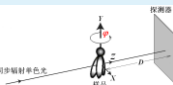


如何选择探测器的像素大小？

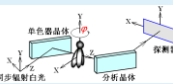
- 类似于瑞利建立分辨率判据的思路，以物点扩散斑半径作为分辨率的极限，并认为探测器的像素直径等于物点扩散斑半径是最佳选择。



干涉成像，利用参考光和物投影光之间的干涉进行成像
1971年



同轴相位传播成像
19--年



衍射增强成像
1997年

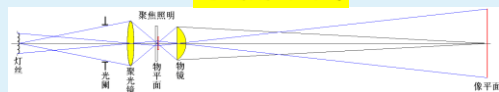


光栅剪切成像
2003年

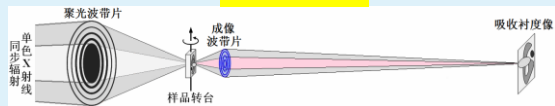
与相位有关的投影成像

透镜成像

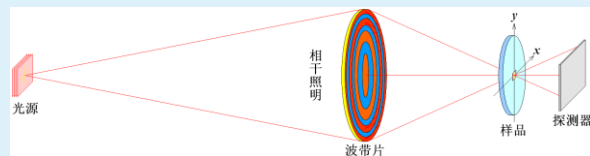
可见光显微镜



X射线显微镜

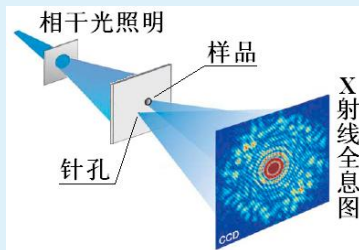


X射线探针扫描成像



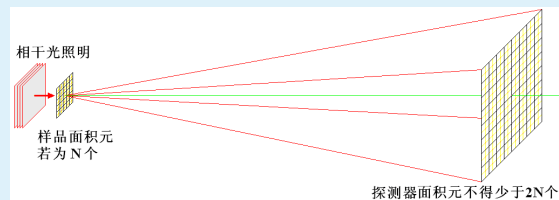
- 利用X射线透镜聚焦形成微小探针，扫描样品，获取样品的影像。

X射线全息成像



- 利用参考光和物衍射光之间的干涉拍摄X射线全息图。

相干衍射成像



- 物的衍射图就是物衍射光的自干涉图，根据物衍射图可以重建样品内部的微观结构。

成像中的几个概念

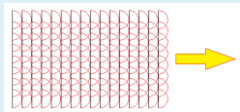
- 并行成像：X射线投影成像、X射线透镜成像和相干X射线无透镜成像为并行成像，各个像素同时成像；
- 串行成像：X射线探针扫描成像为串行成像，各个像素按顺序成像；
- 直接成像：X射线投影成像和X射线透镜成像为直接成像，又称一步成像；
- 间接成像：X射线全息成像和相干衍射成像为间接成像，又称二步成像。

光传播的物理性质

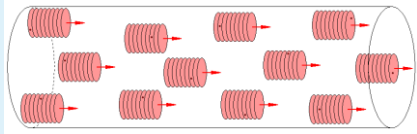
学习成像原理需要搞清楚光的物理性质

光有两面性：周期性和非周期性

- 就像小孩向水中扔一块石子，激发一串波。



- 一般而言，一串波太弱不足以构成光，光是多串波构成的，就像很多小孩随意向水中扔石子。

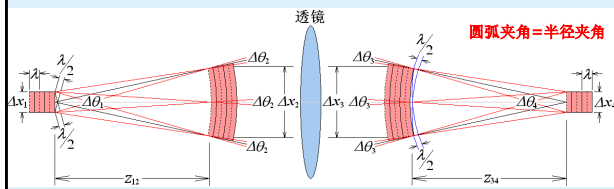


光的发生—光子或者波包

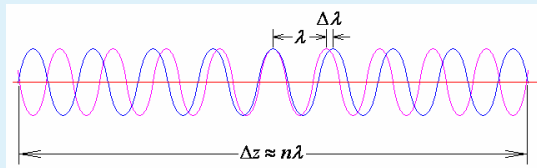
- 电子在加速或减速时，辐射出一份份的能量，称为光子，又称为波包。之所以称为光子，是因为这每一份能量在探测器上的显示为一个亮点；之所以称为波包，是因为这每一份能量都具有波的性质，可以发生干涉和衍射。
- 每个波包都有周期性的波阵面结构，波包内部各点具有固定的相位关系；而波包之间没有相位关系。因此，干涉只发生在波包内部，波包之间不会发生干涉。
- 一般而言，光束是由众多前仆后继的波包构成。波包的大与小、多与少，可以有成千上万个组合，造成千变万化的结果，因而形成光束相干性的复杂性。

光子和波包之间的关系

- 干涉是两波相遇，两波之间相位相同和相反产生的效应；
- 光子流向波包自干涉加强的方向，波包自干涉振幅为零的地方是光子的禁区；
- 波包自干涉开辟光子流域。



波包长度和带宽的关系



$$\Delta z = n\lambda = (n-1)(\lambda + \Delta\lambda) \Rightarrow \Delta z = \frac{\lambda(\lambda + \Delta\lambda)}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$\Delta z \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \lambda$$

- Δz为波包长度，Δλ为波包的波长不确定，又称带宽，λ为中心波长。

根据波包长度和带宽的关系式和德布罗意假设，可以得到平行于光束的不确定关系

$$\Delta z \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \lambda \quad p\lambda = h \Rightarrow \frac{\Delta p_z}{p} + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0 \Rightarrow \Delta z \cdot \frac{\Delta p_z}{p} = \lambda$$

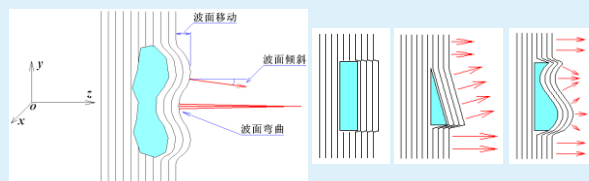
$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z = h$$

光的相位

- 相位就是人们常说的步调。在前进的队伍中，步调相差半步或半步奇数倍两个人，手臂的摆动是相反的，称为相位相反；步调相差一步或一步整数倍两个人，手臂的摆动是一致的，称为相位相同。为了能用数学来描述运动的周期性，人们把它和旋转箭头（就像人们用钟表记录日月的周而复始）的周期性联系起来，用箭头旋转一圈，即 2π 相位，表示一步、一个波长或者其它具有周期性的量。相位相差或奇数倍，称为相位相反，相位相差 2π 或 2π 整数倍，称为相位相同。
- 两束相干光（同一个波包分为两部分，形成两束相干光）相遇，在相遇的地点，若两束光相位相同，则会互相加强，合振幅是两束光振幅之和，产生亮纹；若两束光相位相反，则会互相抵消，合振幅是两束光振幅之差，产生暗纹。由此可以体会到，当两束光相干时，光子流向相位一致的地方，相位衬度成像就是利用相位调控光子流向的特点，对样品进行成像的。

三种相位信号的分类



- (1) 波面移动产生相位移动信号；
- (2) 波面倾斜（相位一阶导数）产生折射角信号；
- (3) 波面弯曲（相位二阶导数）产生聚焦和发散。

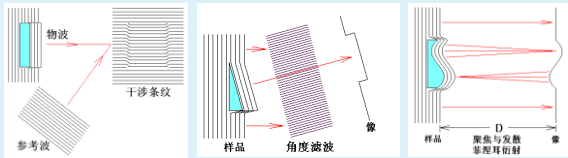
相位信号分类

- 当平面光波经过样品时，可能引起波阵面发生三种变化，产生三种相位信号：
- (1) 样品中像加速器或减速器，引起光波阵面出现超前或落后，产生相位差信号；
- (2) 样品像棱镜，引起光波阵面倾斜，导致光的折射，其折射角与相位一阶导数成正比；
- (3) 样品像透镜，引起光波阵面弯曲，导致光强的聚焦或者发散，可以用相位二阶导数描述波阵面的弯曲程度。

相位探测原理

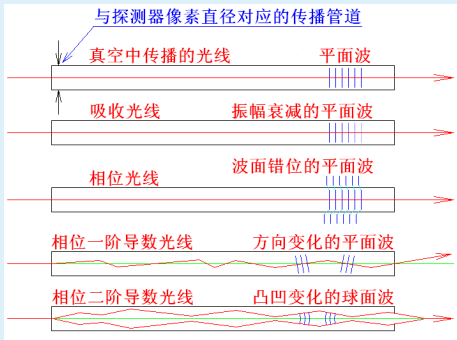
- 虽然相位本身是看不见的，但是它可以通过调控光强来表明它的存在。相位探测的基本原理是，通过探测相位引起的光强变化来探测样品的。

三种相位探测方法



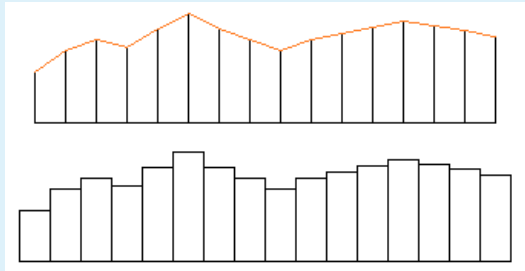
- 根据相位信号的特点，发展了三种探测相位信号的方法，
- (1) 利用干涉条纹探测相移；
- (2) 利用角分辨率探测折射角获得相位一阶导数；
- (3) 利用不同距离探测光强，获得相位二阶导数。

光线直线传播的五种可能性



相位和相位导数之间的关系

- 探测器各像素的相位和相位导数之间的关系

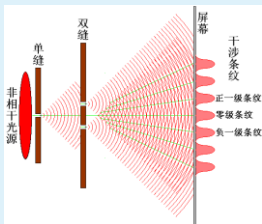


相干性的研究内容

- 一般光源发出的光束，都是多个波包构成的，干涉条纹是波包自干涉形成的，不同波包的干涉条纹之间的错位，会使干涉条纹消失的无影无踪。
- 相干性是研究如何产生干涉条纹的学问，研究光束宽度和光子流向必须满足什么关系，才能产生干涉条纹，研究光程差必须满足什么关系，才能产生干涉条纹。
- 空间相干性：研究光束宽度和光子流向之间的关系
- 时间相干性：研究光程差和干涉条纹清晰度的关系
- 研究方法：双孔干涉

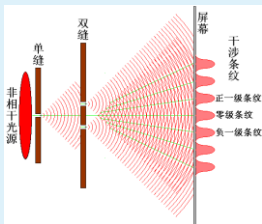
研究相干性的装置

- 来自两个灯泡的两束光，不会产生干涉条纹；
- 一个灯泡照射下的双缝，不会产生干涉条纹；
- 1801年英国医生托马斯·杨先用单孔从灯泡光中滤出相干光，然后用双孔获得干涉条纹。



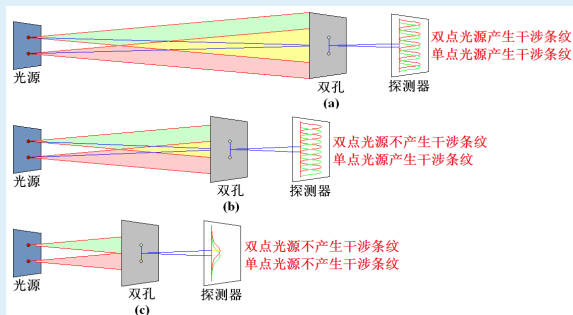
需要研究的问题

- (1) 干涉条纹为什么随着单缝增宽或者距离变近而模糊？
- (2) 干涉条纹为什么中间清楚，两边模糊？
- 第一个问题引入空间相干性；
- 第二个问题引入时间相干性。



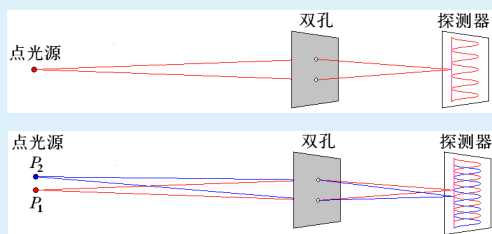
双孔干涉的三种现象

- 在光源上过滤出两点光源，考察双孔干涉，发现三种现象：

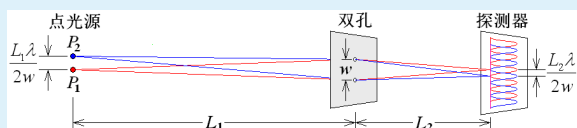


双孔干涉的细致研究

- 一点光源（单色）肯定会产生干涉条纹；
- 两点光源呢？可能产生，也可能不产生。

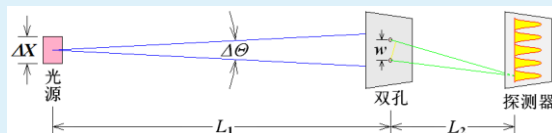


双点光源产生双孔干涉的条件



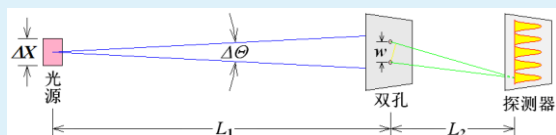
- 双孔干涉条纹周期为 $\frac{L_2 \lambda}{w}$ ，当 P_2 点光源移动 $\frac{L_1 \lambda}{2w}$ ， P_2 的亮纹与 P_1 的暗纹重合，干涉条纹消失。
- 考察双点光源间距 $\Delta X < \frac{L_1 \lambda}{2w}$ 和双孔张角 $\Delta \Theta < \frac{w}{L_1}$ 之间的关系，当 $\Delta X \cdot \Delta \Theta < \frac{\lambda}{2}$ 有干涉条纹，当 $\Delta X \cdot \Delta \Theta = \frac{\lambda}{2}$ 干涉条纹消失。

扩展光源产生双孔干涉条纹研究



- 扩展光源中，既有满足条件 $\Delta X \cdot \Delta \Theta < \frac{\lambda}{2}$ 的两点，也有满足 $\Delta X \cdot \Delta \Theta = \frac{\lambda}{2}$ 条件的两点，还有满足 $\Delta X \cdot \Delta \Theta > \frac{\lambda}{2}$ 条件的亮点。
- 细致分析后，只有当 $\Delta X \cdot \Delta \Theta < \lambda$ ，才能存在未抵消的光源点来产生干涉条纹，当 $\Delta X \cdot \Delta \Theta = \lambda$ 全部点互相抵消，干涉条纹消失。

空间相干条件



$$\begin{cases} \Delta X \cdot \Delta \Theta < \lambda \\ \Delta X \cdot \Delta \Theta = \lambda \end{cases} \rightarrow \Delta X \cdot \Delta \Theta \leq \lambda$$

- $w = L_1 \Delta \Theta$ 称为空间相干长度；
- 请思考空间相干长度和波包宽度的关系；
- 请思考两个关系式之间的区别

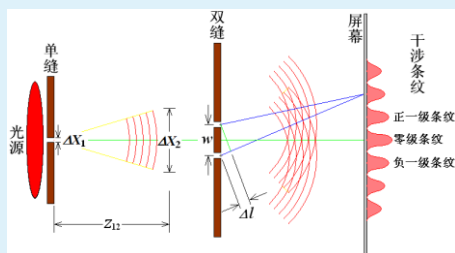
$$\Delta x \cdot \Delta \theta = \lambda \quad \Delta X \cdot \Delta \Theta = \lambda$$

空间相干光和非相干光

- 对于双孔干涉而言，满足空间相干条件的光束，称为空间相干光，不满足空间相干条件的光束，称为空间非相干光。
- 非相干光不是没有相干性，只是各种相干效应互相干扰，其结果看起来好像没有相干性。
- 下列三种措施，可使从双孔发出的光从不相干变为相干：
 - (1) 双孔远离光源，
 - (2) 缩小光源直径，
 - (3) 缩小双孔之间距离。

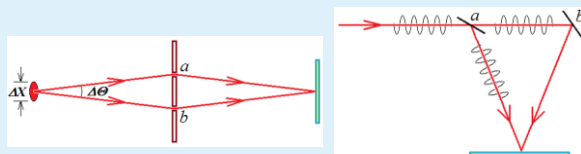
干涉条纹的可见度 是两种相干性共同作用的结果

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



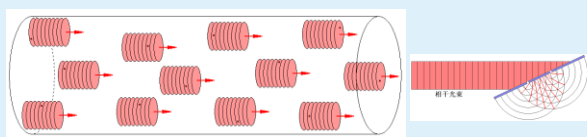
如何研究 纯空间相干性和纯时间相干性

- 垂直于光束传播方向的两点的相干性称为空间相干性，也称为横向相干性；
- 平行于光束传播方向的两点的相干性称为时间相干性，也称为纵向相干性。



干涉条纹是许多波包的累积效应

- 一个波包不足以产生可观察的干涉条纹，
- 干涉条纹是许多波包前赴后继的累积效应。



光传播性质的小结

- (1) 单个波包形状变化规律，三个不确定关系：

$$\Delta x \cdot \Delta \theta = \lambda, \quad \Delta y \cdot \Delta \psi = \lambda, \quad \Delta z \cdot \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \lambda$$
- (2) 垂直于光束的两点的相干性，空间相干条件：

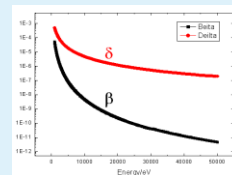
$$\Delta X \cdot \Delta \Theta \leq \lambda$$
- (3) 平行于光束的两点的相干性，时间相干条件：

$$\Delta L \leq L_c = \lambda^2 / \Delta \lambda$$
- (4) 两相干光相遇，振幅相加；两非相干光相遇，光强相加。

相位衬度投影成像

为什么要做X射线相位衬度成像？

碳元素的
相位项和吸收项



- 对于轻元素, $\delta \gg \beta$, X射线通过轻元素物体, 就像光通过玻璃一样, 几乎不衰减, 传统的吸收衬度成像不能获取轻元素物体结构的清晰图像。
- 利用相位对轻元素成像, 是人们长久以来的愿望。

如何利用相位进行成像？

- 用探测器紧贴在物体后面探测, 相位消失, 探测不到任何相位信息, 获得的是传统的吸收衬度成像。

$$I = AA^* = A_0 \exp(i\Phi) \exp\left(-\frac{M}{2}\right) A_0^* \exp(-i\Phi) \exp\left(-\frac{M}{2}\right) = I_0 \exp(-M)$$

如何使探测器看到相位？

- 只能通过探测光强来看到相位。因而需要研究相位的产生、相位的表达、相位和光强的关系。

X射线的折射率

$$n = 1 - \delta + i\beta$$

- 代表单位长度的物质和X射线的相互作用；
- X射线和厚度为 l 的均匀物质的相互作用为：

$$nl = (1 - \delta)l + i\beta l$$

$$\text{折射率} \times \text{物质长度} = \text{实光程} + \text{虚光程}$$

- X射线和厚度为 l 的非均匀物质的相互作用为：

$$\int_0^l ndz = \int_0^l (1 - \delta)dz + i \int_0^l \beta dz$$

实光程和相位的关系

$$\Phi_{\text{物质}} = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (1 - \delta)dz$$

虚光程和吸收的关系

$$M = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^l \beta dz = \int_0^l \mu dz$$

光振幅经过物质的相位和衰减

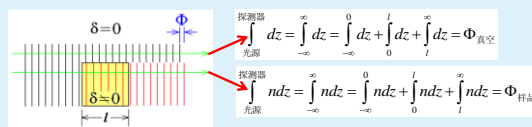
$$A = A_0 \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l ndz\right) = A_0 \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (1 - \delta + i\beta)dz\right) = A_0 \exp(i\Phi_{\text{物质}}) \exp\left(-\frac{M}{2}\right)$$

光振幅经过真空的相位

$$A = A_0 \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l dz\right) = A_0 \exp(i\Phi_{\text{真空}})$$

物质厚度未知，如何表达相位和吸收？

- 参考真空相位方法可以解决这个问题：

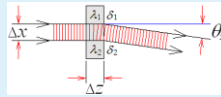
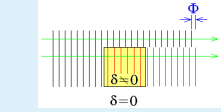


$$\Phi = \Phi_{\text{样品}} - \Phi_{\text{真空}} = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1)dz = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1)dz$$

$$A = A_0 \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1)dz\right) = A_0 \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (-\delta + i\beta)dz\right) = A_0 \exp(i\Phi) \exp\left(-\frac{M}{2}\right)$$

$$\Phi = -\frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l \delta dz = -\frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l \delta dz \quad M = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^l \beta dz = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^l \beta dz = \int_0^l \mu dz$$

X射线折射的原因



δ 越大 λ 越小

$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz$$

$$\Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y, z) dz$$

$$\begin{aligned} \theta_x(x, y) &= \frac{\text{光程差}}{\Delta x} = \frac{(n_2 - n_1) \Delta z}{\Delta x} \\ &= -\frac{(\delta_2 - \delta_1) \Delta z}{\Delta x} = -\frac{\Delta \delta}{\Delta x} \Delta z \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz \end{aligned}$$

$$\theta_y(x, y) = \frac{\text{光程差}}{\Delta y} = -\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} dz$$

相位梯度和折射角的关系

因为 $\theta_x = -\int \frac{\partial \delta}{\partial x} dz$ $\theta_y = -\int \frac{\partial \delta}{\partial y} dz$ $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} dz = 0$

所以

$$\begin{aligned} \frac{\nabla \Phi(x, y)}{k} &= -\int_{-\infty}^{\infty} \nabla \delta(x, y, z) dz \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} \vec{e}_z \right] dz \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} \vec{e}_y \right] dz \\ &= \theta_x(x, y) \vec{e}_x + \theta_y(x, y) \vec{e}_y = \vec{\theta}(x, y) \end{aligned}$$

可知，样品的微小折射角是一个二维矢量。

相位拉普拉斯

梯度的散度

$$\frac{\nabla \cdot \nabla \Phi(x, y)}{k} = -\nabla \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \nabla \delta(x, y, z) dz = \frac{\partial \theta_x(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial \theta_y(x, y)}{\partial y}$$

因为 $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} dz = 0$

所以

$$\begin{aligned} \frac{\nabla^2 \Phi(x, y)}{k} &= -\int_{-\infty}^{\infty} \nabla^2 \delta(x, y, z) dz \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} \right] dz \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} \right] dz \end{aligned}$$

四种可用于X射线投影成像的直线积分

对物体的 $\mu(x, y, z)$ 进行投影成像：吸收信号

$$M(x, y) = \ln \frac{I_0}{I(x, y)} = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz$$

对物体的 $\delta(x, y, z)$ 进行投影成像：移相信号

$$\Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y, z) dz$$

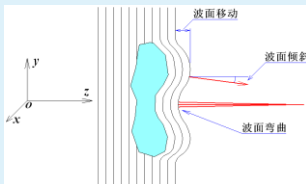
对物体的 $\nabla \delta(x, y, z)$ 进行投影成像：折射角信号

$$\nabla \Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \nabla \delta(x, y, z) dz$$

对物体的 $\nabla^2 \delta(x, y, z)$ 进行投影成像：聚焦或发散信号

$$\nabla^2 \Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \nabla^2 \delta(x, y, z) dz$$

三种局域相位信号的物理图像



波面移动

$$\Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y, z) dz$$

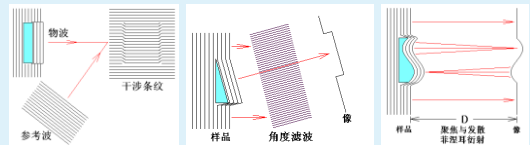
波面倾斜

$$\nabla \Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \nabla \delta(x, y, z) dz$$

波面弯曲

$$\nabla^2 \Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \nabla^2 \delta(x, y, z) dz$$

探测相位的三种方法



根据相位信号的特点，发展了三种探测相位信号的方法，

- 1、利用干涉条纹探测相位；
- 2、利用角分辨元件探测折射角（相位一阶导数）；
- 3、利用不同距离探测光强，获得相位二阶导数。

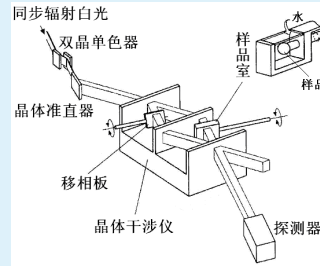
相位衬度投影成像的基本分类

三种相位信号，四种提取方法

- 干涉成像：利用参考光提取相移信号
- 衍射增强成像：利用晶体的角分辨能力提取折射角信号
- 光栅剪切成像：利用光栅的角分辨能力提取折射角信号
- 同轴相位传播成像：利用距离提取聚束或扩束信号

干涉成像方法

- 利用晶体干涉仪，产生参考光探测相移

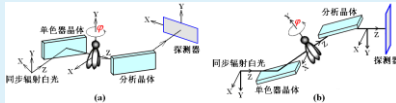


$$\Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y, z) dz$$

相移信号是折射率的投影积分，从中可以重建折射率 $\delta(x, y, z)$

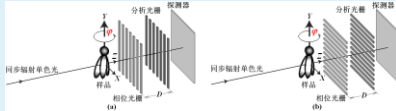
折射角成像信号探测方法

- 衍射增强成像方法利用晶体角分辨探测折射角



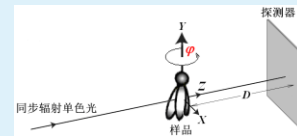
$$\frac{1}{k} \nabla \Phi(x, y) = - \int_{-\infty}^{\infty} \nabla \delta(x, y, z) dz = \theta_x(x, y) \vec{e}_x + \theta_y(x, y) \vec{e}_y = \vec{\theta}(x, y)$$

- 光栅剪切成像方法利用光栅角分辨探测折射角



相位拉普拉斯成像信号探测方法

- 同轴相位传播成像方法



- 利用距离将相位二阶导数转变为光强的二阶导数

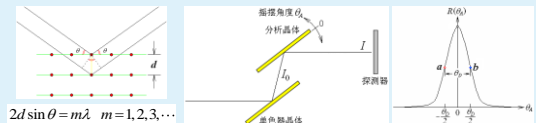
$$\nabla^2 \Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \nabla^2 \delta(x, y, z) dz$$

衍射增强成像

只考虑吸收和折射

衍射增强成像原理

- 衍射增强成像利用单晶晶格的Bragg衍射产生单色X射线。



$$2d \sin \theta = m\lambda \quad m=1, 2, 3, \dots$$

- 单晶具有非常窄的接收角，分析晶体偏离接收角，探测器任意一个像素的光强迅速下降，摇摆分析晶体，探测器任意一个像素光强随摇摆角变化的曲线，称为摇摆曲线。
- 无样品时，探测器任意一个像素的光强可用下式表示：

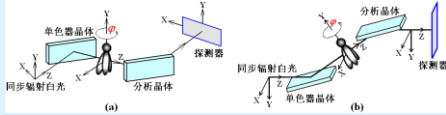
$$I = I_0 R(\theta_A)$$

衍射增强成像方程

- 当样品放入两块晶体中，样品对X射线产生两个作用，吸收和折射，吸收使从样品出射的光强减弱，折射改变入射在分析晶体上的角度；
- 因为分析晶体相对入射光线转动一个角度，和入射光线改变一个相同的入射角度等价，所以有

$$I''(x, y) = I_0 \exp(-M(x, y)) R(\theta_A - \theta_x(x, y))$$

$$I^\perp(x, y) = I_0 \exp(-M(x, y)) R(\theta_A - \theta_y(x, y))$$



两种成像函数

- 吸收函数 $M(x, y)$,
- 折射角函数 $\theta(x, y)$,
- 如何从探测器拍摄的 $I(x, y)$ 中提取 $M(x, y)$ 和 $\theta(x, y)$?
- 这就像解二元一次方程，拍摄两幅不同的像，然后从中解出 $M(x, y)$ 和 $\theta(x, y)$ 。

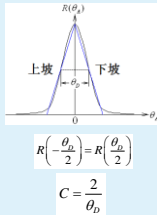
双坡位衍射增强成像方法

- 上坡像和下坡像方法：先将分析晶体转动到 $-\theta_D/2$ ，使摇摆曲线的光强位于上坡线性区域，拍摄一张样品像，称为上坡像；再将分析晶体转动到 $\theta_D/2$ ，使摇摆曲线的光强位于下坡线性区域，拍摄一张样品像，称为下坡像；设 C 为线性区域斜率，则衍射增强成像方程为

$$I''(x, y) = I_0 \exp(-M(x, y)) R(\theta_A - \theta_x(x, y))$$

$$I''(x, y)_\perp = I_0 \exp(-M(x, y)) R\left(-\frac{\theta_D}{2}\right) (1 - C\theta_x(x, y))$$

$$I''(x, y)_\parallel = I_0 \exp(-M(x, y)) R\left(\frac{\theta_D}{2}\right) (1 + C\theta_x(x, y))$$



双坡位衍射增强成像方法

$$I''(x, y)_\parallel + I''(x, y)_\perp = 2I_0 \exp(-M(x, y)) R\left(\frac{\theta_D}{2}\right)$$

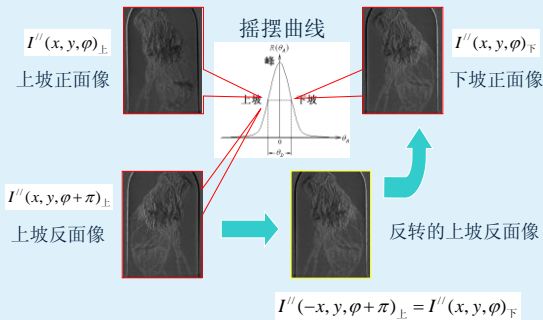
$$I''(x, y)_\parallel - I''(x, y)_\perp = 2I_0 \exp(-M(x, y)) R\left(\frac{\theta_D}{2}\right) C\theta_x(x, y)$$

$$M(x, y) = \ln \frac{2I_0 R\left(\frac{\theta_D}{2}\right)}{I''(x, y)_\parallel + I''(x, y)_\perp}$$

$$\theta_x(x, y) = \frac{\theta_D}{2} \cdot \frac{I''(x, y)_\parallel - I''(x, y)_\perp}{I''(x, y)_\parallel + I''(x, y)_\perp}$$

- 是否有拍摄中不需要转动分析晶体的方法？

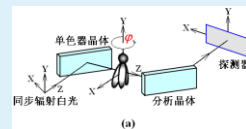
两张上坡像方法



单坡位衍射增强成像方法

$$M(x, y) = \ln \frac{2I_0 R\left(\frac{\theta_D}{2}\right)}{I''(-x, y, \phi + \pi)_+ + I''(x, y, \phi)_+}$$

$$\theta_x(x, y) = \frac{\theta_D}{2} \cdot \frac{I''(-x, y, \phi + \pi)_+ - I''(x, y, \phi)_+}{I''(-x, y, \phi + \pi)_+ + I''(x, y, \phi)_+}$$

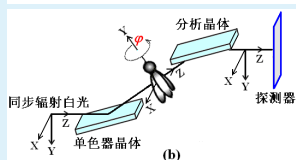


提取垂直折射角的方法

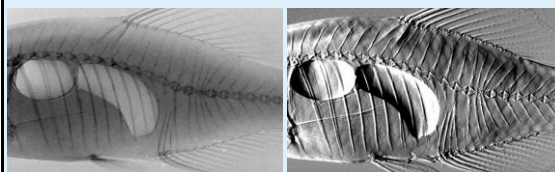
- 单腰方法对提取垂直折射角不适合。

$$M(x, y) = \ln \frac{2I_0 R \left(\frac{\theta_D}{2} \right)}{I^\perp(x, y)_F + I^\perp(x, y)_U}$$

$$\theta_y(x, y) = \frac{\theta_D}{2} \cdot \frac{I^\perp(x, y)_F - I^\perp(x, y)_U}{I^\perp(x, y)_F + I^\perp(x, y)_U}$$



北京同步辐射相位衬度成像研究成果



吸收衬度像

折射衬度像

请各位专家批评指正

X射线成像应用简介

袁清习

2013.11.21

1

主要内容

1. X射线成像及分类
2. 医学应用实例
3. 能源领域应用实例
4. 生物学应用实例
5. 材料领域应用实例
6. 其它应用



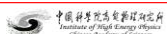
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



BSRF

2

X射线成像及分类



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



BSRF

3

常见成像手段



普通光学显微镜



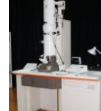
扫描电子显微镜



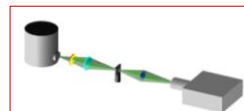
医学CT



激光共聚焦扫描显微镜



透射电子显微镜



X射线显微镜



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

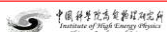


BSRF

4

常见成像手段比较

成像方法	分辨率	样品尺寸	3D?	实时?	破坏?
Optical microscope	λ (200~300nm)	Depth of focus <100 nm	N	Bio/Y	N
Confocal microscope	λ ; STORM/50nm	flexible	Y	Bio/Y	N
Medical X-ray CT	~mm	tens of cm	Y	Y	N
Neutron imaging	Tens of μm	~inch +	Y	Y	N
Synch. $\mu\text{-CT}$	~ μm	mm to cm	Y	Y	N
TXM	~30 nm	tens of μm	Y	Y	N
AFM	~Å	tens of μm	N	N	N
SEM	~nm	~ μm +	With FIB	Difficult	2D/N; 3D/Y
TEM	~Å	<100 nm thick	Y	Difficult	N



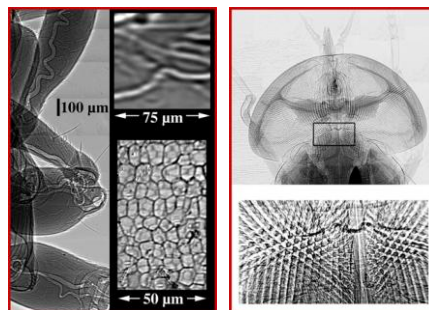
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



BSRF

5

X射线成像可以干什么?



J. Phys. D35 (2002) R105, Y Hwu, Wen-Li Tsai, et al.

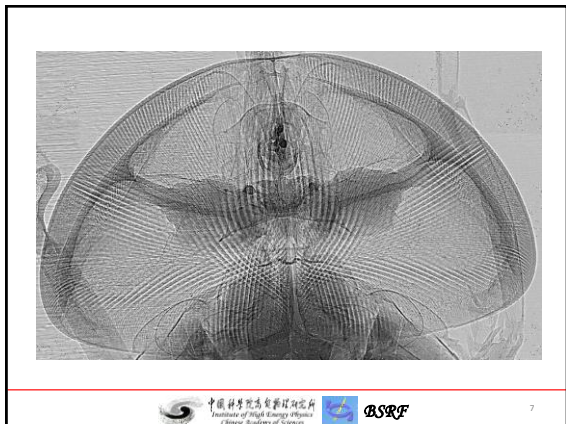


中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



BSRF

6



X射线成像的优点

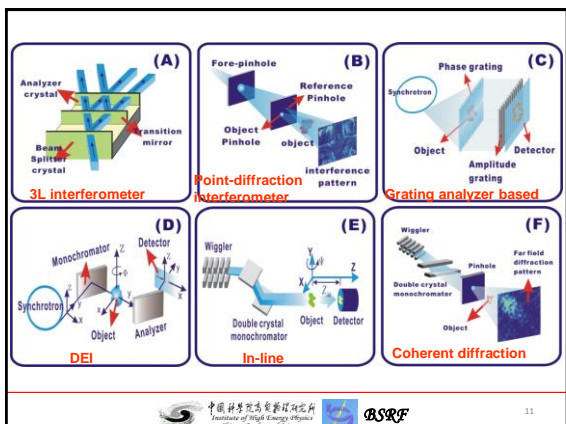
1. 高空间分辨
2. 高穿透性的无创成像
3. 曝光时间短、成像速度快
4. 可外加各种环境条件
(磁场, 温度场, 电场, 压力等)
5. 丰富的衬度机制
(吸收、相位、散射、荧光、吸收边等)

X射线成像分类

- 从成像空间分辨率大小分: { 微米成像
纳米成像
- 从主要获得的样品信息分: { 吸收衬度成像
相位衬度成像
散射成像 (暗场成像)
谱学信息成像 (荧光、吸收谱等)

- 成像 { 针孔成像: 包括基于针孔成像原理的编码孔径成像
- { 投影成像 { 传统吸收成像 (胸片、医学CT等)
相位衬度投影成像 { 晶体干涉仪成像
相位传播成像 (同轴成像)
衍射增强成像
光栅剪切成像
.....
- { 透镜成像 { 全场成像
微探针扫描成像
- { 衍射成像 { 全息成像
相干衍射成像

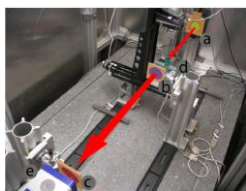
本报告所述应用实例主要围绕相位衬度投影成像、全场成像和相干衍射成像方法展开



医学应用实例

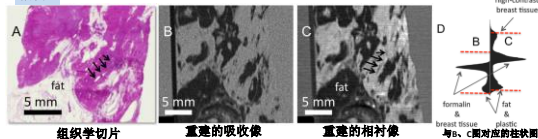
乳腺成像—1

实验室光源光栅成像
Mo靶70 mA @ 35–40 kVp
1200 p/360° & 11 steps
曝光时间5s、总时间30h



- a) 光源栅:
- b) 相位光栅:
- c) 分析光栅:
- d) 样品台:
- e) 探测器

病例1



组织学切片

重建的吸收像

重建的相衬像

与b、c图对应的柱状图

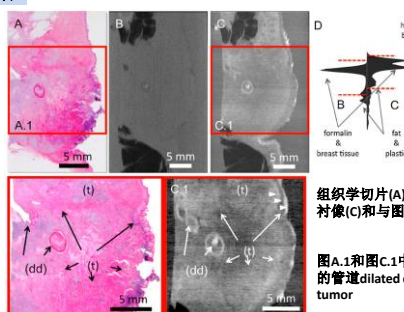
S. Grandi et al. / Z. Med. Phys. 23 (2013) 212–221

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

BSRF

13

病例2



组织学切片(A)、吸收像(B)、相衬像(C)和与图BC对应的柱状图

图A.1和图C.1中, (d)指示粗化的管道dilated ducts, (t)指示瘤tumor

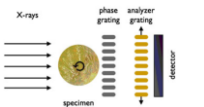
S. Grandi et al. / Z. Med. Phys. 23 (2013) 212–221

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

BSRF

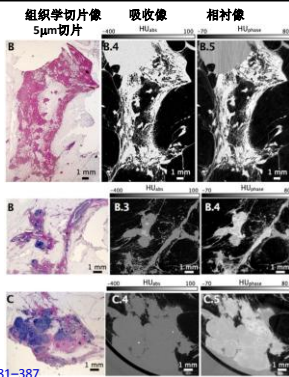
14

乳腺成像—2



同步辐射光源光栅成像
23keV@ESRF-ID19
样品大小: 2x2x2cm³
1199p/360° & 4 sets

基于光栅的相位衬度方法有可能实现从离体成像到活体成像



组织学切片像

吸收像

相衬像

5μm切片

B.4

B.5

1mm

B.3

B.4

B.2

B.3

B.4

B.1

B.2

B.3

B.4

B.5

B.6

B.7

B.8

B.9

B.10

B.11

B.12

B.13

B.14

B.15

B.16

B.17

B.18

B.19

B.20

B.21

B.22

B.23

B.24

B.25

B.26

B.27

B.28

B.29

B.30

B.31

B.32

B.33

B.34

B.35

B.36

B.37

B.38

B.39

B.40

B.41

B.42

B.43

B.44

B.45

B.46

B.47

B.48

B.49

B.50

B.51

B.52

B.53

B.54

B.55

B.56

B.57

B.58

B.59

B.60

B.61

B.62

B.63

B.64

B.65

B.66

B.67

B.68

B.69

B.70

B.71

B.72

B.73

B.74

B.75

B.76

B.77

B.78

B.79

B.80

B.81

B.82

B.83

B.84

B.85

B.86

B.87

B.88

B.89

B.90

B.91

B.92

B.93

B.94

B.95

B.96

B.97

B.98

B.99

B.100

B.101

B.102

B.103

B.104

B.105

B.106

B.107

B.108

B.109

B.110

B.111

B.112

B.113

B.114

B.115

B.116

B.117

B.118

B.119

B.120

B.121

B.122

B.123

B.124

B.125

B.126

B.127

B.128

B.129

B.130

B.131

B.132

B.133

B.134

B.135

B.136

B.137

B.138

B.139

B.140

B.141

B.142

B.143

B.144

B.145

B.146

B.147

B.148

B.149

B.150

B.151

B.152

B.153

B.154

B.155

B.156

B.157

B.158

B.159

B.160

B.161

B.162

B.163

B.164

B.165

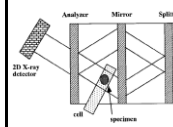
R. Tang et al. Phys. Med. Biol. 56 (2011) 3503–3512

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

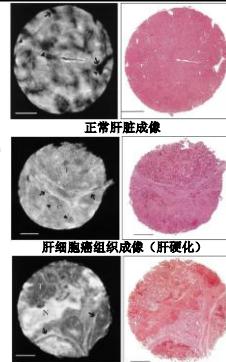
BSRF

17

肝脏成像



视场: 100mmx100mm
样品: 病理切片
样品厚度: 5cm
同步辐射光源17.7keV, 30keV
不使用衬度增强剂
4%福尔马林溶液固定



正常肝脏成像

肝细胞癌组织成像(肝硬化)

结肠癌转移的肝脏成像

光镜切片厚度10μm 标尺1mm

Tohoru Takeda et al. Radiology 214(1):298-301

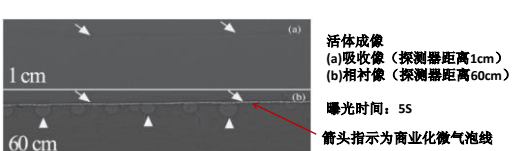
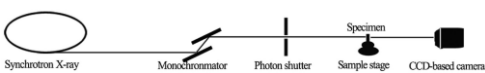
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

BSRF

16

微气泡作为脉管系统造影剂

小鼠活体实验(现场)
商业化的微气泡(超声, 1–10 μm 平均2.5 μm), 自制微气泡(1–22 μm 平均9 μm)
用0.5 ml BaSO₄(0.5 g ml⁻¹) 对照组
瘤组织尺寸~1cm, 样品厚度5mm, 19keV@SSRF-BL13W



活体成像
(a)吸收像(探测器距离1cm)
(b)相衬像(探测器距离60cm)

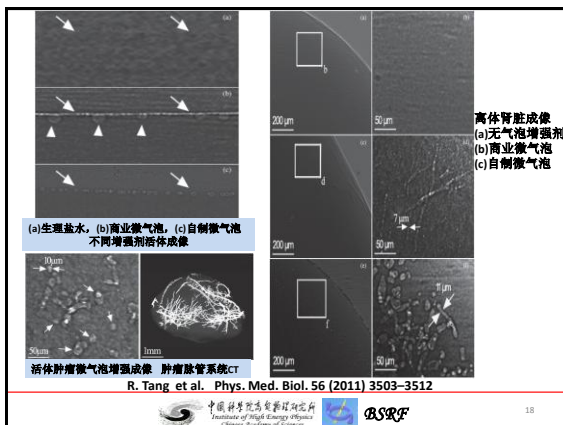
曝光时间: 5S
箭头指示为商业化微气泡线

R. Tang et al. Phys. Med. Biol. 56 (2011) 3503–3512

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

BSRF

17



(a)生理盐水, (b)商业化微气泡, (c)自制微气泡
不同增强剂活体成像

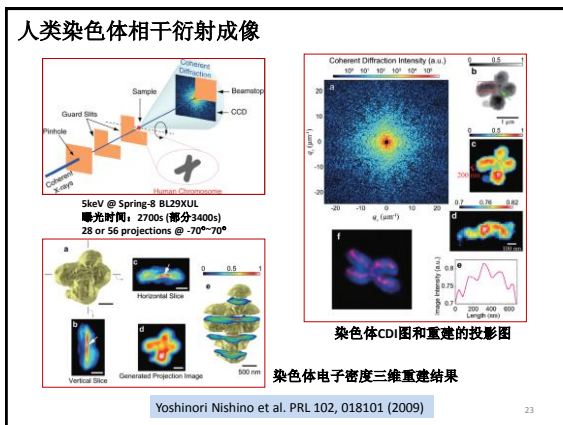
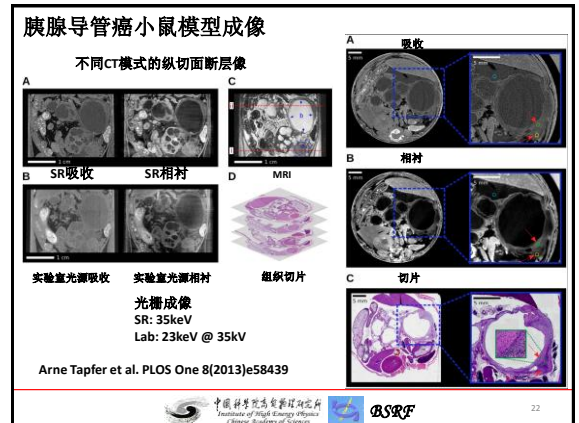
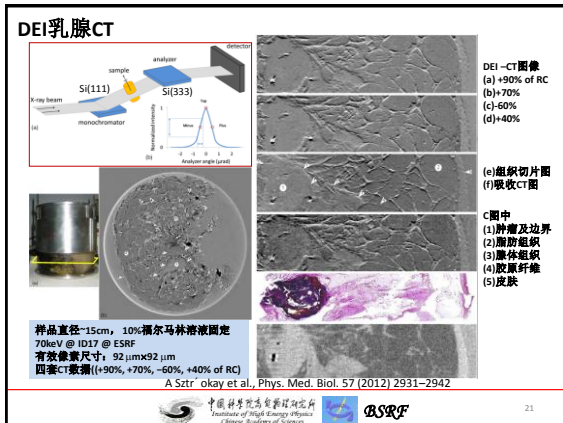
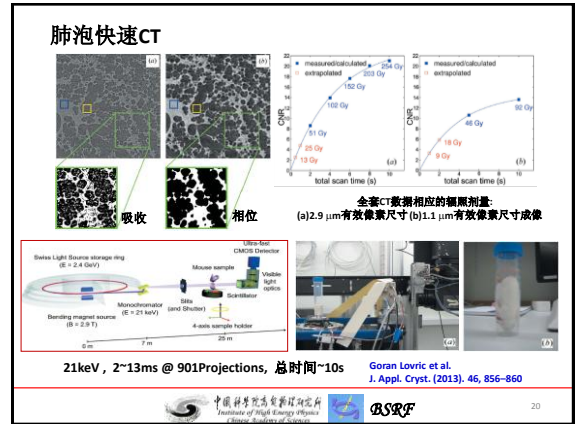
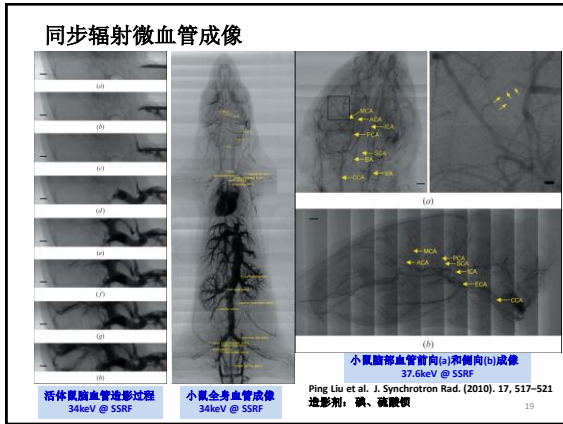
活体肿瘤微气泡增强成像 肿瘤脉管系统CT

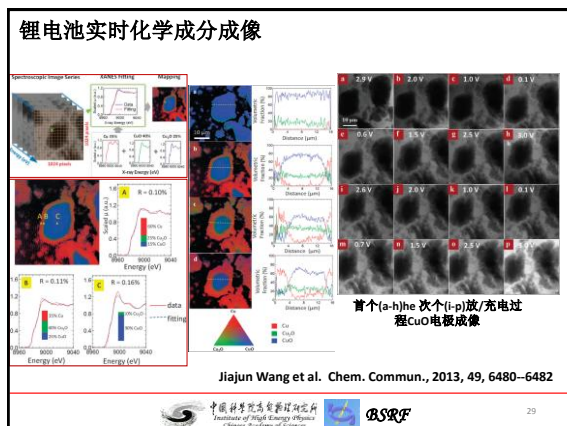
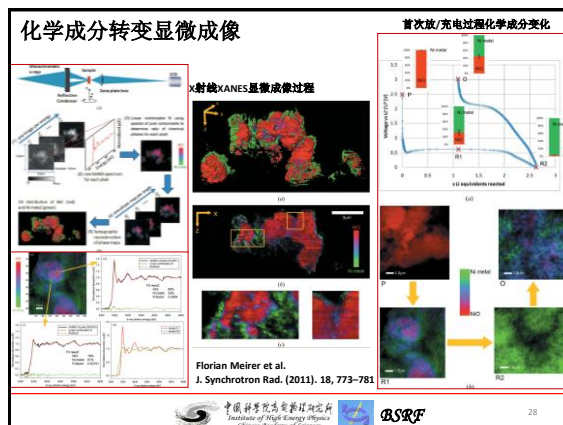
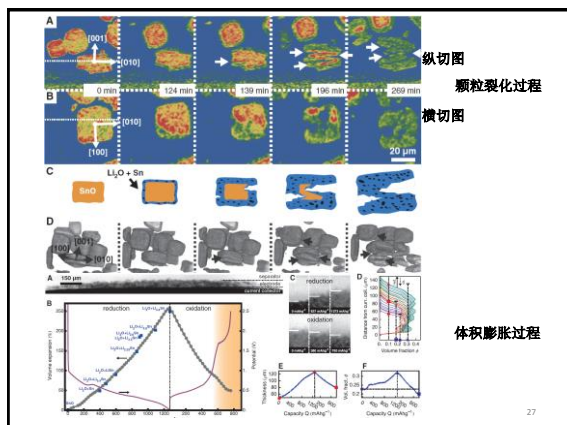
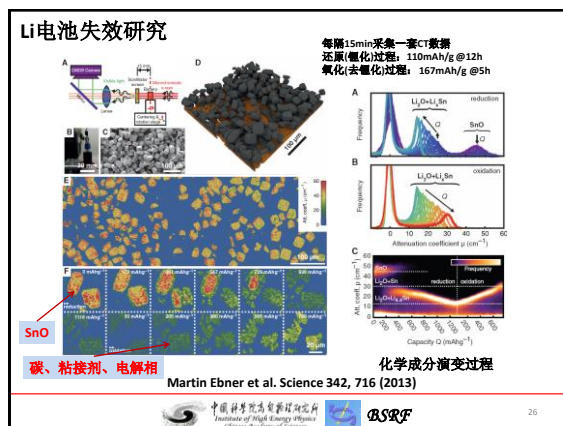
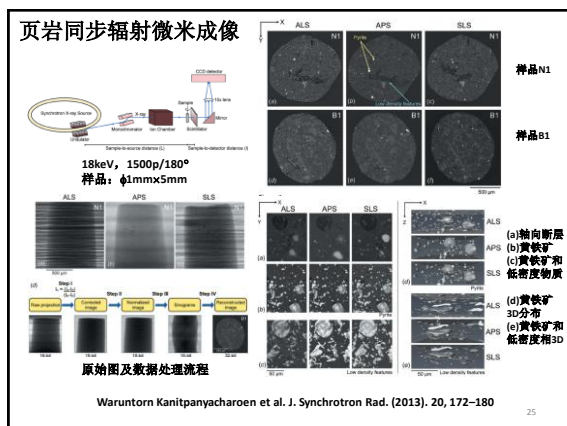
R. Tang et al. Phys. Med. Biol. 56 (2011) 3503–3512

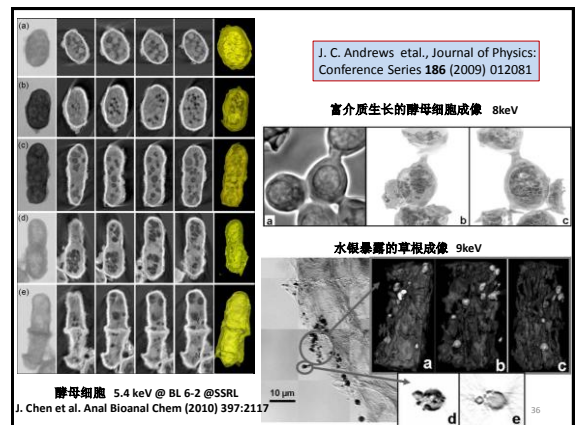
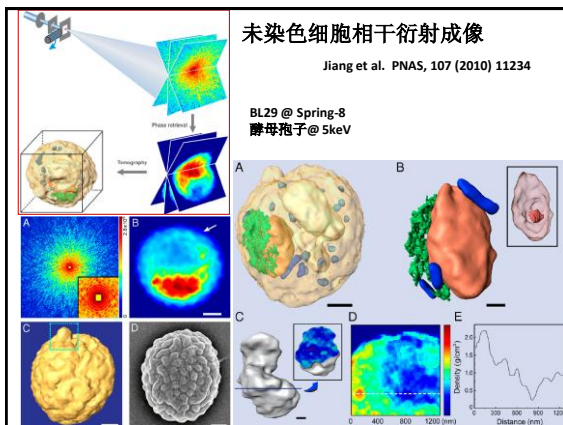
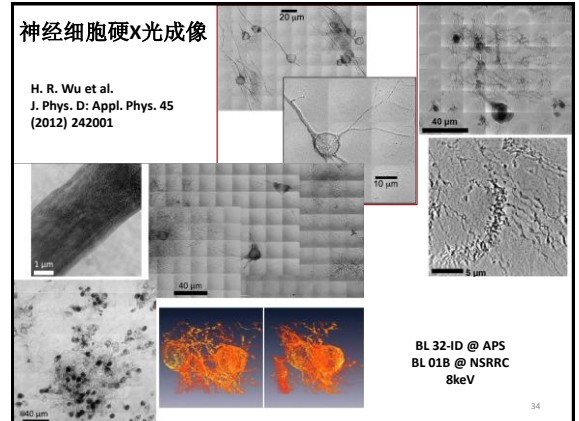
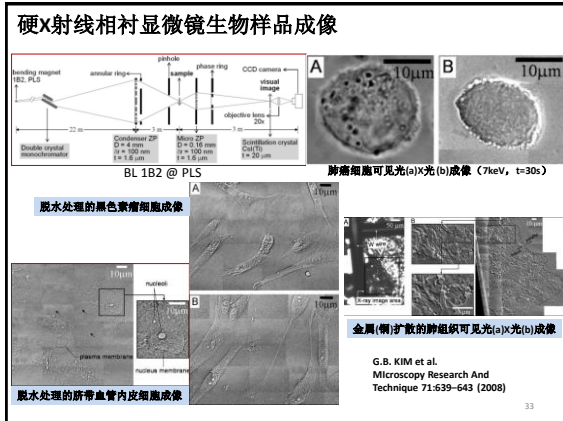
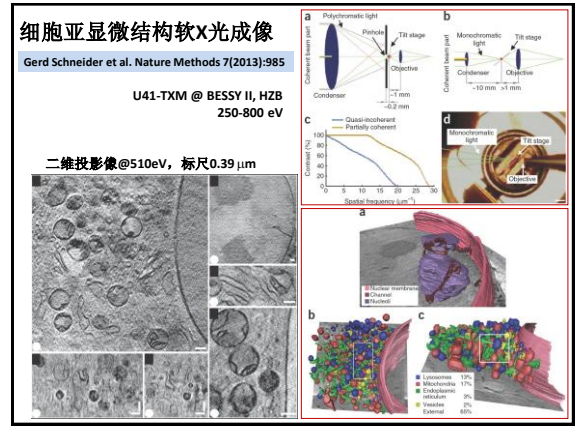
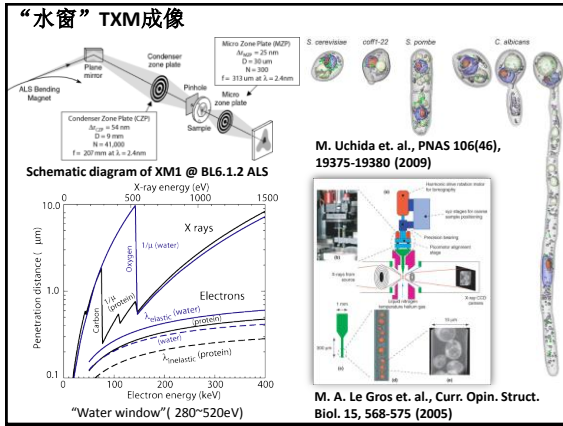
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

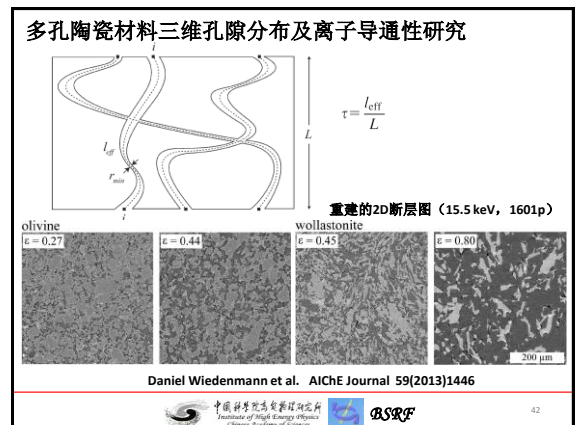
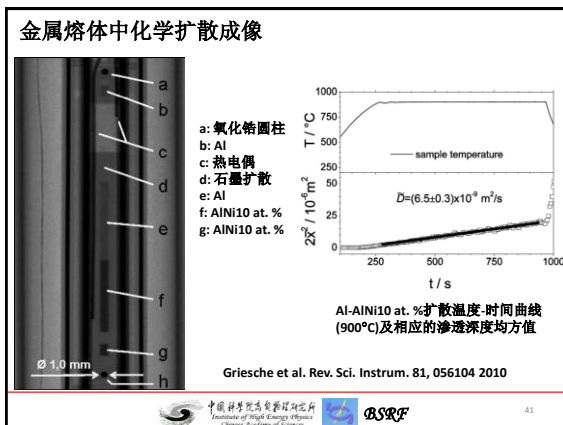
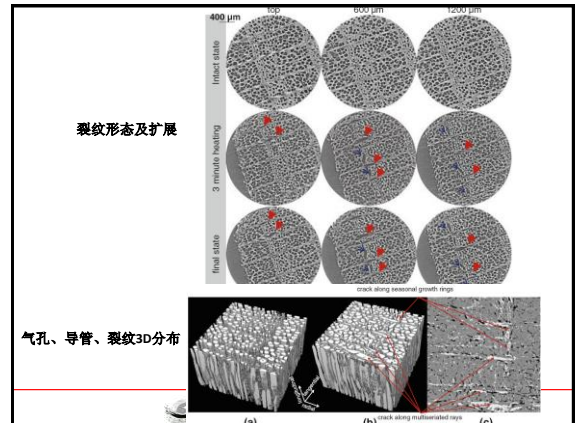
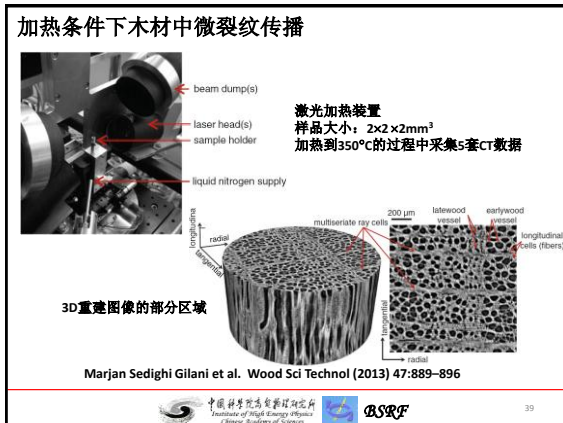
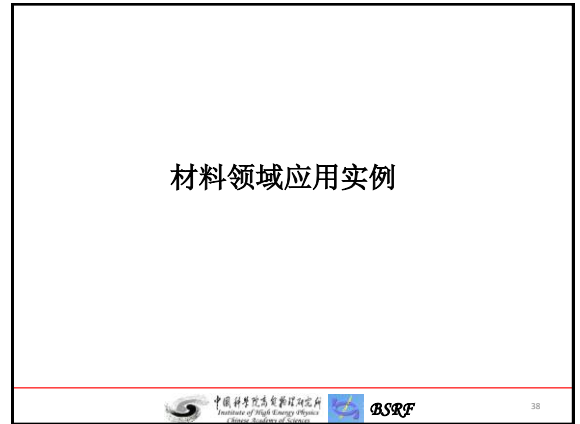
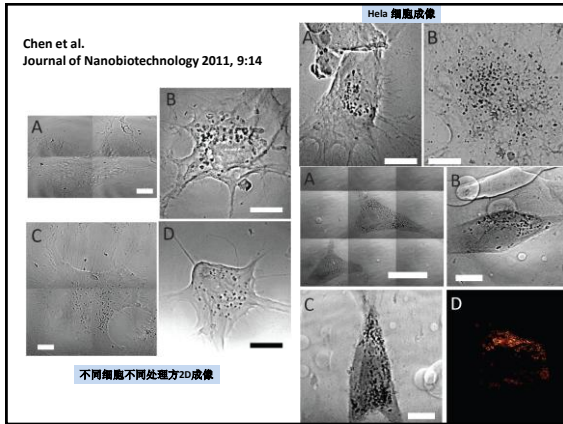
BSRF

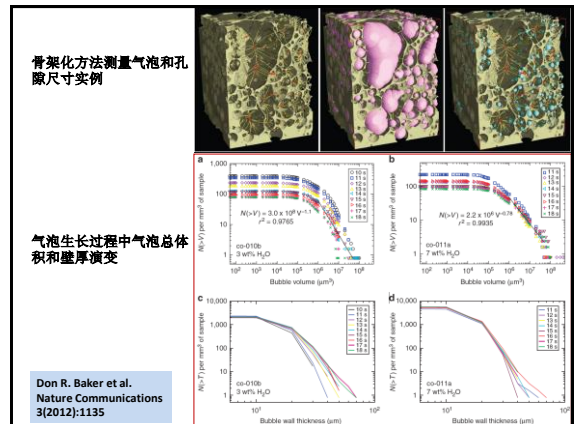
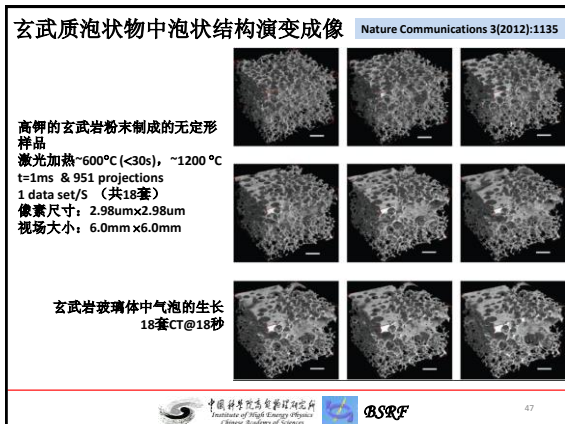
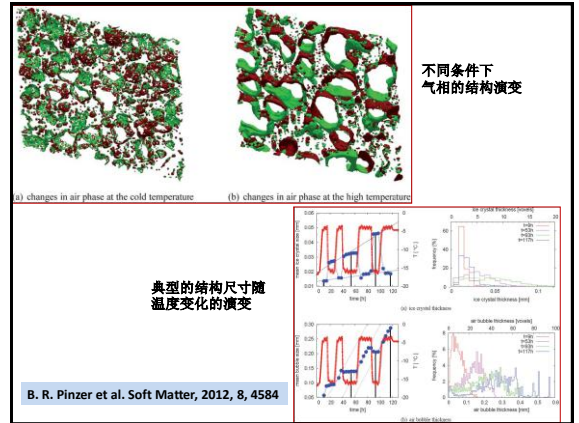
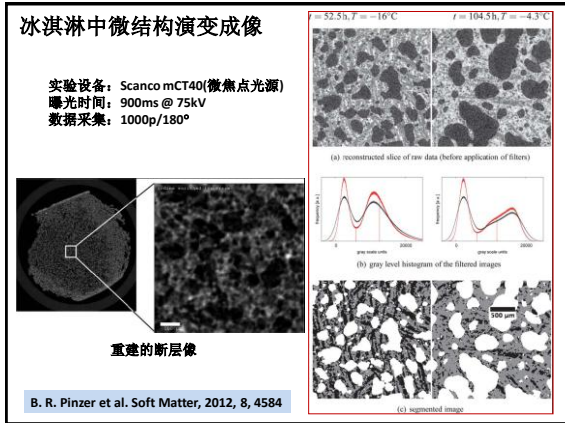
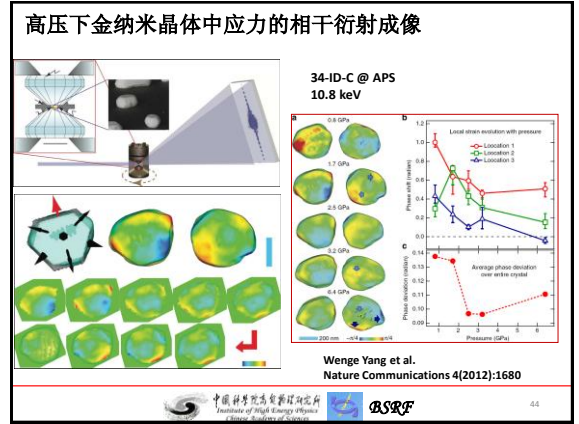
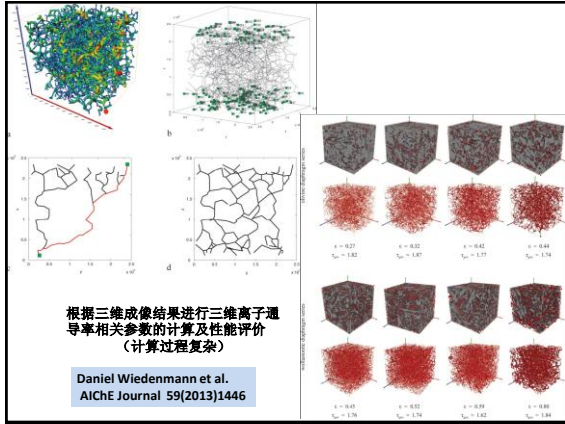
18







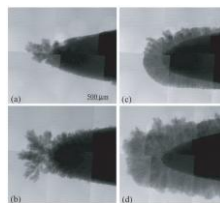




其它应用

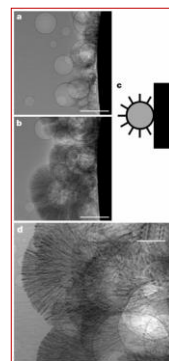
(化学、地学、环境等)

金属电镀过程成像



不同条件下
铜表面镀锌过程结构演变

Y Hwu et al.
J. Phys. D35 (2002) R105,

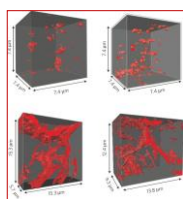


铜表面镀锌过程中
锌在氢气泡上生长

W. L. Tsai et al.
Nature
417(2002)139

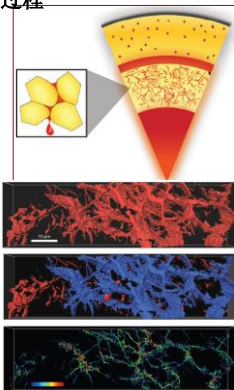
下地幔条件下金属铁网络的生成过程

高温高压模拟地球下地幔条件

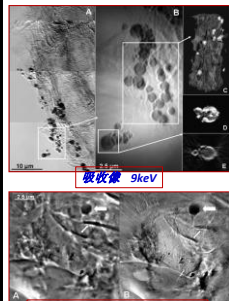


硅酸盐钙铁矿中铁熔体合金的三维分布
25GPa(2300K)、39GPa(2800K)、
52GPa(3100K)、64GPa(3300K)

Crystal Y. Shi et al. Nature Geoscience
(2013) doi:10.1038/ngeo1956



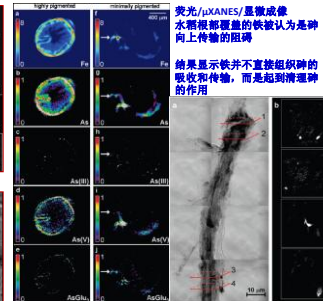
绳草的根部富集汞成像



吸收像 9keV
相衬像(8keV) 吸收像(8keV)

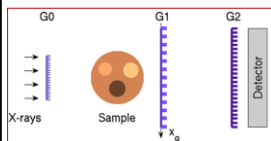
Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 7397-7402

水稻根部砷的生成、传输



Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 8108-8113

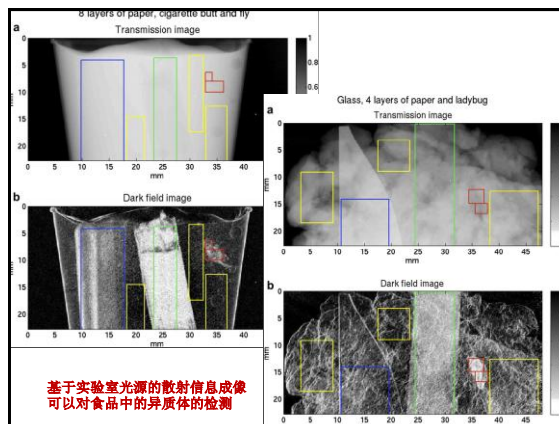
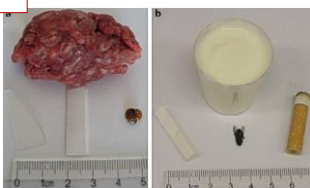
食品中有机异质体的检测（散射信息光栅成像）



实验室光源光栅成像
铜靶 @ 40kV & 150mA
光源点尺寸: 1mmx1mm

样品1: 碎牛肉、玻璃、8层
纸张、单层纸包裹的瓢虫
样品2: 塑料杯、发酵的奶酪、
四层纸张、苍蝇、烟头

M.S. Nielsen et al.
Food Control 30 (2013) 531



基于实验室光源的散射信息成像
可以对食品中的异质体的检测

谢谢大家！



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



BSRF

55

北京同步辐射装置 X射线成像技术介绍

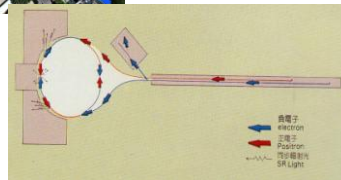
黄万霞
2013-11-21

北京正负电子对撞机

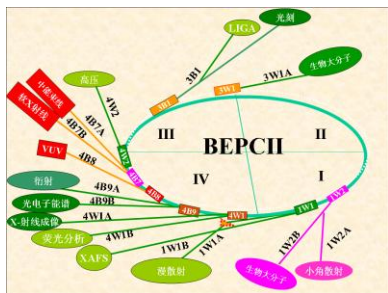


一机两用：
对撞模式，研究高能物理，6个月
同步模式，3个月

- 环周长：240m
- 能量：2.5GeV

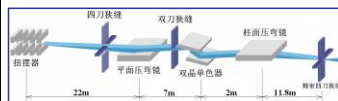


北京同步辐射装置



- 14条光束线和15个实验站

4W1A光束线（两种模式）



纳米分辨三维成像

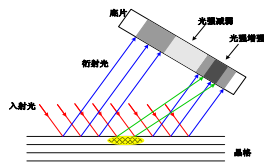
单色聚焦光束模式



白光模式

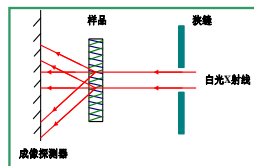
X射线形貌术
相位衬度三维成像

X射线形貌术—原理



衍射成像：晶格缺陷 → 衍射异常 → 光强分布改变 → 产生衬度
点缺陷（微缺陷）、位错、层错、晶界、畴壁、亚晶粒、杂质分派、裂纹等

X射线形貌术—实验方法 同步辐射白光形貌术（透射）



实验原理：当一束同步辐射白光X射线束入射到晶体样品上时，根据布喇格衍射公式 $2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$ ($n=1,2,3,\dots$)，晶体中不同指数面各自分别选择相应波长的X射线，衍射形成相应的劳厄衍射斑（图5.8-1），每个劳厄斑点就代表了相应衍射面的信息。

X射线形貌术—样品

- 研究对象：晶体（单晶体）
- 单晶样品先经过切割、磨抛成薄片状
- 样品尺寸：通常5mm左右
- 样品厚度：通常几百微米

— 吸收衰减公式 $I = I_0 e^{-\mu t}$

μ : 线衰减系数，即样品厚度中每厘米的吸收几率，具有 cm^{-1} 的量纲。

t : 样品厚度

样品厚度根据 $\mu t \sim 1$ 计算，此时出射X射线强度约为入射X射线的0.37。

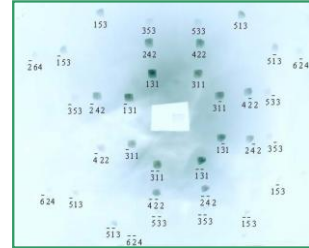
— The Center for X-Ray Optics



<http://www.cxro.lbl.gov>

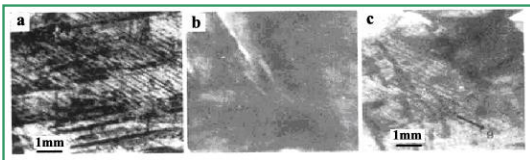
X射线形貌术--应用实例

1、一次曝光拍摄多组晶面的衍射图像—白光形貌术



透射式白光形貌术获得的金刚石晶体的白光形貌像（入射光沿[100]方向）

2. 晶体相变过程的实时观察—铌酸钾（ KNbO_3 ）晶体相变过程的实时研究

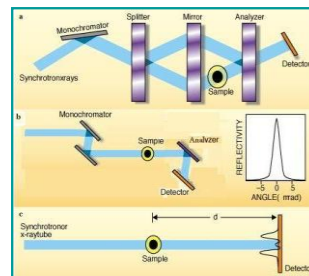


铌酸钾晶体的相变过程为：三方相 $\xrightarrow{-10^\circ\text{C}}$ 正交相 $\xrightarrow{225^\circ\text{C}}$ 四方相 $\xrightarrow{435^\circ\text{C}}$ 立方相

图(a)是室温下的形貌像，晶体为正交相。图(b)是相变温度附近的形貌像，显示晶体正发生相的转变。图(c)为相变后的形貌像，晶体为四方相。

X射线相位衬度成像

干涉法 $\nabla\phi$, 衍射增强成像、光栅成像 $\nabla^2\phi$, 同轴相位衬度成像

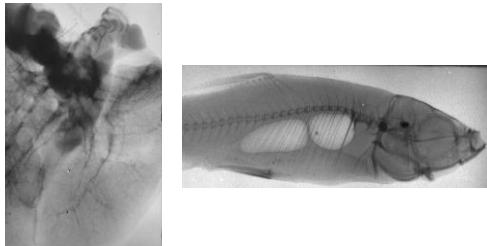


>干涉法

>衍射增强成像

>同轴相位衬度成像
(非涅尔衍射成像)

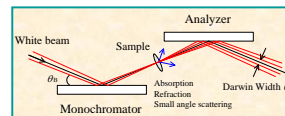
同轴相位衬度成像



SD大鼠的肺组织
可看出肺组织气管和动脉管

DEI Physical principles

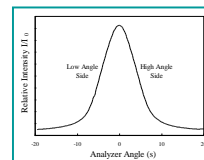
衍射增强成像方法



同步辐射白光经单色器
反射成单一能量光束

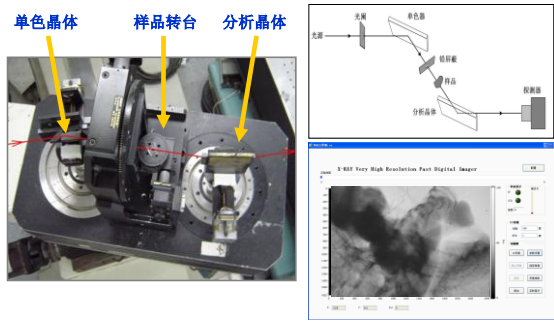
该单色光束在样品中发生
吸收、折射和小角散射

分析晶体的作用相当于一个
角度过滤器和衬度放大器，
从而得到消光衬度和
折射衬度



Si(111)晶体摇摆曲线 (8 keV)

相位衬度三维成像实验平台



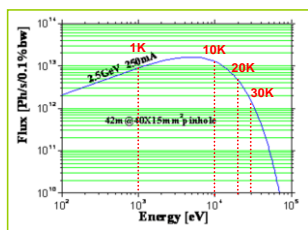
研究对象

- 动、植物；医学材料；复合材料；合金材料，岩石矿石类等

研究范围

- 生物医学材料、复合材料等各种材料的内部结构；
- 原位观察材料在加载或加温等外界环境条件下的动态行为；
- 相位衬度成像及CT的原理和方法学研究；

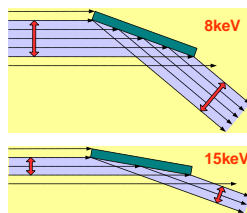
能量范围：



5~20keV

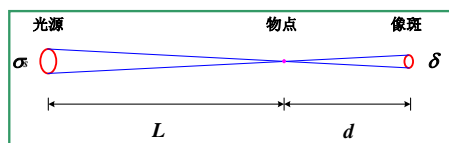
成像视场及样品尺寸

- 成像视场：探测器能接收到的X射线照射的区域，即探测器视场和光斑视场的交集
- 光斑视场主要由晶体长度决定



能量keV	布拉格角	光斑视场mm
8	14.3	20×12
12	9.5	14×12
16	7.1	11×12
20	5.6	8×12
24	4.7	7×12

空间分辨率



空间分辨率主要由三个因素决定：

光源尺寸 σ_s 光源到物的距离 L 物到像的距离 d

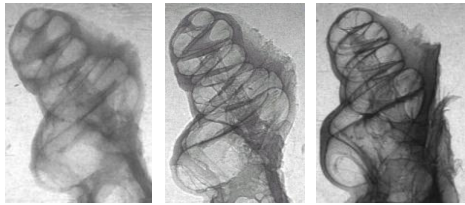
$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_h = \frac{2\sigma_s \cdot d}{L} \approx 5\mu m \quad (\text{水平}) \\ \delta_v = \frac{2\sigma_s \cdot d}{L} \approx 1.8\mu m \quad (\text{竖直}) \end{array} \right.$$

探测器

- 英国Photonic Science公司 FDI-18mm X射线CCD探测器
像素尺寸：10.9 μm ×10.9 μm ，像素阵列：1300×1030
视场范围：14mm×11mm
- 英国Photonic Science公司 VHR-16M X射线CCD探测器
像素尺寸：7.4 μm ×7.4 μm ，像素阵列4872×3248
视场范围：36mm×24mm（可选区成像）
- 美国Xradia公司分辨率可调X射线CCD探测器
可选像素尺寸3.25 μm ，视场范围3.3mm×3.3mm
可选像素尺寸0.65 μm ，视场范围0.66mm×0.66mm
像素阵列1024×1024。

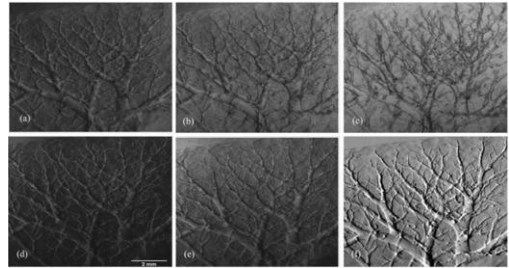


豚鼠耳蜗的相位衬度成像——与首都医科大学合作



吸收衬度成像 同轴相位衬度成像 衍射增强相位衬度成像

大鼠肝血管的衍射增强成像

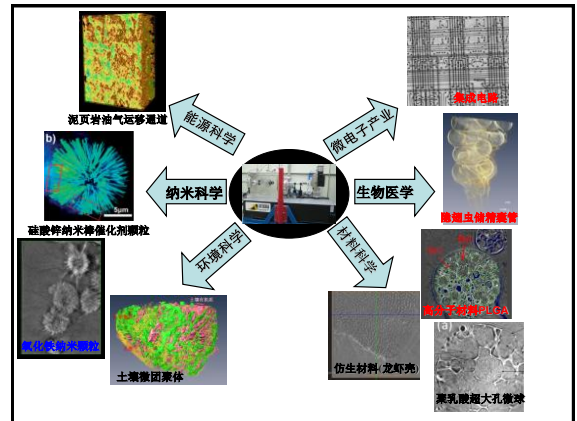


左右趾位图像 左右腰位图像 上图：峰位图像
下图：计算的折射像

纳米分辨成像系统

项目概述

- 由科学院和财政部联合支持的重大科研装备研制项目，研制经费2300万元，研制周期为30个月
- 项目承担单位：中国科学院高能物理所
- 2007年7月1日启动
- 2010年10月22日获得26nm的二维空间分辨率
- 2010年10月26日通过测试验收
- 2010年10月正式向用户开放
- 经过两年的稳定运行，于2012年12月20日通过验收专家组验收



纳米CT成像技术的应用领域

研究领域	研究内容	课题	单位
纳米科学	微纳结构材料	铁基磁性空心微纳材料的结构与性质研究	北京航空航天大学
		微纳多晶结构材料的三维成像	中科院化学所
		新型生化微纳器件的制备与结构表征	中国科学院过程工程研究所
		催化剂材料的生长机理研究	中科院高能所
功能材料	仿生材料 人工关节材料 复合材料、高分子材料	仿生轻质高强纳米复合材料的结构与性能研究	北京大学
		摩擦腐蚀多场耦合对医用合金纳米晶化的影响	北京科技大学
		金属基纳米颗粒在聚合物基体中分散行为的研究	北京大学
		压力诱导流动场在通用高分子中构筑多尺度有序层状微纳结构	中国科技大学 东华大学
纺织化工		尼龙材料的三维纳米结构研究	北京大学
		在线可控多功能聚酯纤维制备技术	中国纺织科学研究院
		高性能聚合物纤维的显微成像研究	中石化北京化工研究院

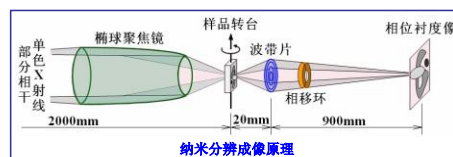
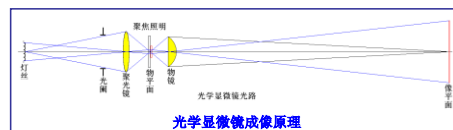
纳米CT成像技术的应用领域

研究领域	研究内容	课题	单位
能源材料	电极、电池材料等	电极材料的三维纳米结构研究	中科院物理所
		锂电池材料的三维结构研究	北京大学
		基于X射线成像技术研究SOFC电极的三维微结构	中科院国家同步辐射实验室
		利用微生物燃料电池研究典型复合污染对微生物的生态毒理效应	南开大学
		中温固体氧化物燃料电池阴极沉积和格毒化机理研究	中科院上海应用物理所
石油勘探	油页岩、泥页岩、煤岩等	天然气生成机理、资源潜力评价与战略选区	中国石油勘探开发研究院
		页岩三维结构成像研究	中科院地质与地球物理研究所
		不同变形机制下页岩纳米级孔隙结构演化过程及其机理	中国科学院大学
		中国华北地区中上元古界古油藏的成藏潜力	中国石油勘探开发研究院
		页岩气储层特征研究与目标优选	中国石油大学

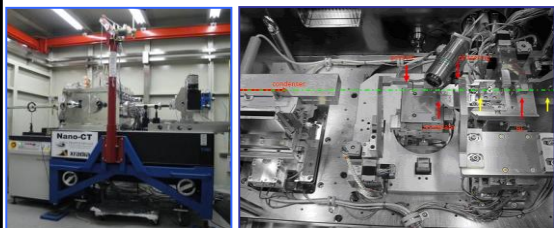
纳米CT成像技术的应用领域

研究领域	研究内容	课题	单位
生物形态学	动植物或体内微系统	甲虫后翅的纳米级三维结构研究	中科院动物所
		生蜡的显微CT成像	北京协和医院
		水稻扇型植磁体的三维形态结构研究	中国科学院大学
细胞生物学	细胞	利用同步辐射技术研究金属纳米材料与生物体系的作用	中科院高能所
		含钙、铜类多阴离子药物与细胞作用成像研究	苏州大学
		利用纳米成像技术研究纳米材料与细胞的相互作用	中科院高能所
		细胞及组织内金属Zn分布硬X-射线成像	南京大学
环境科学	土壤	微观尺度上土壤有机质稳定机理的研究	中国科学院大学
其它	太空灰尘	太空灰尘的内部结构研究	意大利INFN

三、纳米分辨成像设备



纳米分辨CT装置及内部结构

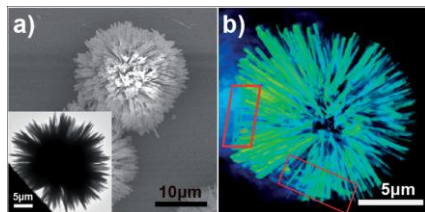


纳米分辨成像系统主要性能指标

❖ 分辨率: 30~100 nm, 视场范围: 10~60 μm , 能量覆盖范围: 5~12 keV

常规X光源	视场/分辨率
8 keV (铜靶)	15 \times 15 μm^2 /50 nm 60 \times 60 μm^2 /100 nm
5.4 keV (铬靶)	15 \times 15 μm^2 /50 nm
同步辐射光源	视场/分辨率
5~7 keV	15 \times 15 μm^2 /50 nm
7~9 keV	10 \times 10 μm^2 /30 nm 15 \times 15 μm^2 /50 nm 60 \times 60 μm^2 /100 nm
9~12 keV	15 \times 15 μm^2 /50 nm

海胆状自组装硅酸锌纳米棒催化剂颗粒三维成像

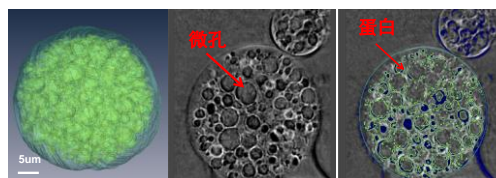


TEM和SEM结果

纳米成像三维重建结果

——中科院化学所宋卫国课题组合作

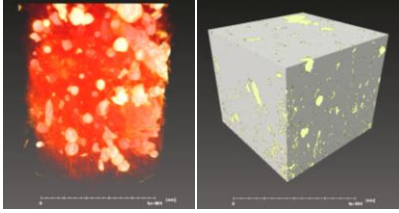
高分子材料PLGA微球三维成像



微球内部含孔隙, 并附着有牛血清蛋白, 纳米三维成像可准确探明蛋白在微球内部的分布及体积比等, 阐明微球携带蛋白的能力。

——中山大学张永明课题组合作

油页岩纳米分辨三维成像



左图：三维透视显示 右图：成份分割显示
油页岩中孔的体积、形状和连通性等特性对评估油页岩
储油量及开采价值等具有重要意义。

Thanks!

衍射增强CT的实验方法和数据处理

报告人：张凯

课题组：多学科同步辐射形貌站

报告提纲

- 1 X射线CT成像技术
- 2 DEI-CT的原理和实验参数确定
- 3 数据处理

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

2

X射线的发现



Conrad Roentgen (1845- 1923)

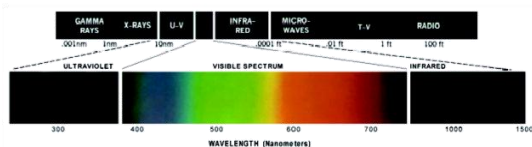
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

3

电磁波谱与X射线谱

- X射线是一种电磁波



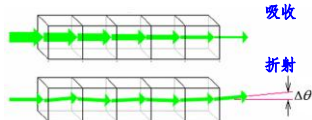
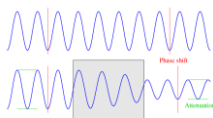
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

4

X射线与物质的相互作用

$$U = U_0 \exp(i\phi) \exp(-u)$$

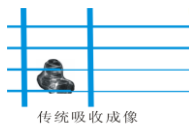


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

5

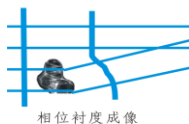
X射线吸收成像VS相位衬度成像



传统吸收成像

光场振幅的衰减而成像

密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 厚度10微米的碳只吸收0.5%



相位衬度成像

光场相位的改变导致强度的不均匀分布从而成像

密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 厚度10微米的碳可使相位改变 0.3π

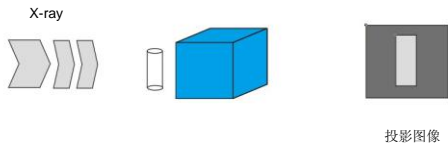
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

6

X射线成像的局限性

- 传统的X射线成像是二维成像

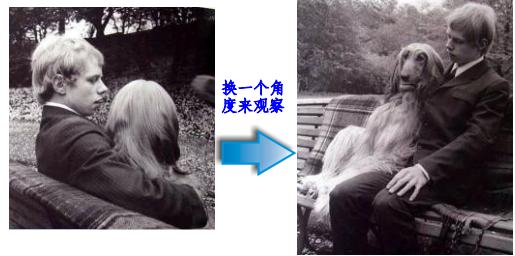


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

7

X射线成像技术与CT技术的结合

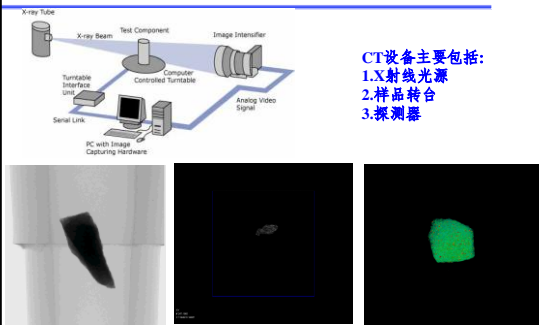


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

8

CT技术的工作原理



数据采集

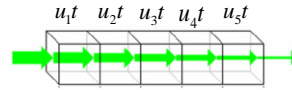
断层重建

3D重建

9

CT重建的基本原理

CT重建就是求解吸收系数的分布



$$I = I_0 e^{-\int_L u dt} \quad \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \int_L u dt \quad \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = u_1 + u_2 + \dots + u_N$$

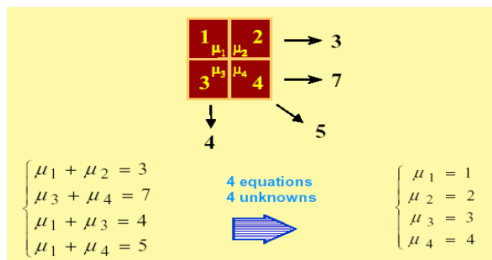
投影的定义

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

10

CT重建的基本原理



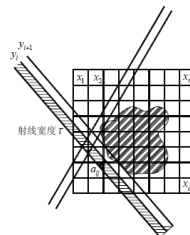
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

11

CT重建的基本原理

迭代算法: 速度慢, 对噪声有很好的控制能力



$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_j \end{pmatrix}$$

256*256像素的图像, 会产生256*180个方程

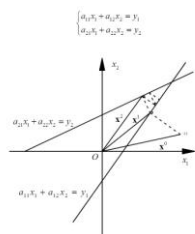
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

12

CT重建的基本原理

迭代算法的原理



$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \lambda^{(k)} \frac{p_{i_k} - r_{i_k} X^{(k)}}{r_{i_k}^2} r_{i_k}^T$$

2013-11-18

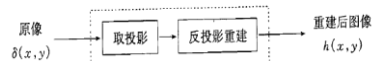
中国科学院高能物理研究所

13

CT重建的基本原理

解析重建算法: 速度快、精确重建, 要求数据完备

$$f(x, y) = \int_0^\pi \left[\int_0^\infty F(w, \theta) |w| e^{j2\pi w f} dw \right] d\theta$$



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

14

CT重建的基本原理

解析重建算法的原理

- 我们考虑孤立点源反投影重建, 中心点A经n条投影射线投影后, 投影值均为1:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = 1$$

因此重建后

$$f_A = \frac{1}{n} (p_1 + p_2 + \dots + p_n) = 1$$

而其他点均为1/n

这类伪迹成为星状伪迹

0	0	0
0	1	0
0	0	0

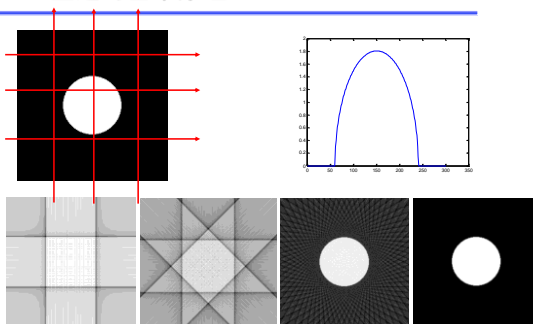
1/n	1/n	1/n
1/n	1	1/n
1/n	1/n	1/n

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

15

CT重建的基本原理



2个投影

4个投影

36个投影

180个投影

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

16

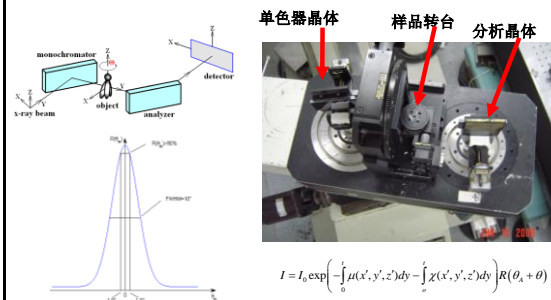
2 DEI-CT的原理和实验参数确定

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

17

衍射增强CT实验平台-DEI-CT



单色器晶体

样品转台

分析晶体

$$I = I_0 \exp \left(- \int_0^L \mu(x', y', z') dz' - \int_0^L \chi(x', y', z') dz' \right) R(\theta_0 + \theta)$$

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

18

衍射增强CT的原理

左、右半腰像:

$$I = I_0 \exp \left(- \int_0^t \mu(x', y', z') dy - \int_0^t \chi(x', y', z') dy \right) R \left(\theta_0 - \frac{\theta_0}{2} \right)$$

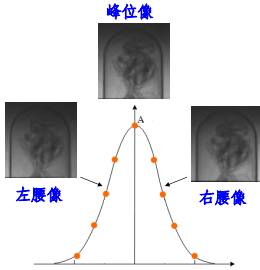
$$I = I_0 \exp \left(- \int_0^t \mu(x', y', z') dy - \int_0^t \chi(x', y', z') dy \right) R \left(\theta_0 + \frac{\theta_0}{2} \right)$$

峰位像:

$$I = I_0 \exp \left(- \int_0^t \mu(x', y', z') dy - \int_0^t \chi(x', y', z') dy \right) R(\theta_0)$$

折射像:

$$\theta = \frac{1}{C_L} \frac{I_L - I_H}{I_L + I_H}$$



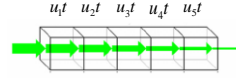
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

19

衍射增强CT的原理

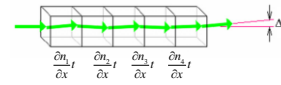
传统吸收CT:



$$\ln \left(\frac{I_0}{I} \right) = u_1 + u_2 + \dots + u_N$$

投影的定义

相位衬度折射CT:



$$\theta = \frac{\partial n_1}{\partial x} + \frac{\partial n_2}{\partial x} + \frac{\partial n_3}{\partial x} + \dots + \frac{\partial n_N}{\partial x}$$

$$= \frac{1}{C_L} \frac{I_L - I_H}{I_L + I_H}$$

相位峰位折射CT:

$$\ln \frac{I_0}{I} = (\mu_1 + \chi_1) + (\mu_2 + \chi_2) + \dots + (\mu_N + \chi_N)$$

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

20

衍射增强CT的原理

折射衬度CT重建公式:

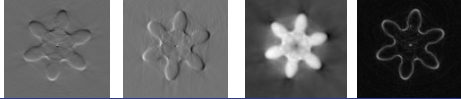
$$n(x, y, z) = \int_0^t d\Theta \int_{-\infty}^{\infty} \left[\theta_0(x_0, \Theta, z) * F^{-1} \{ |\mu| \} \right] \delta(x \cos \Theta + y \sin \Theta - x_0) dx_0$$

$$\frac{\partial n(x, y, z)}{\partial x} = \int_0^t \cos \Theta d\Theta \int_{-\infty}^{\infty} \left[\theta_0(x_0, \Theta, z) * F^{-1} \{ |\mu| \} \right] \delta(x \cos \Theta + y \sin \Theta - x_0) dx_0$$

$$\frac{\partial n(x, y, z)}{\partial y} = \int_0^t \sin \Theta d\Theta \int_{-\infty}^{\infty} \left[\theta_0(x_0, \Theta, z) * F^{-1} \{ |\mu| \} \right] \delta(x \cos \Theta + y \sin \Theta - x_0) dx_0$$

$$\frac{\partial n(x, y, z)}{\partial z} = \int_0^t d\Theta \int_{-\infty}^{\infty} \left[\theta_0(x_0, \Theta, z) * F^{-1} \{ |\mu| \} \right] \delta(x \cos \Theta + y \sin \Theta - x_0) dx_0$$

$$|\nabla n(x, y, z)| = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial z} \right)^2}$$



2013-11-18

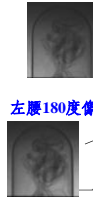
中国科学院高能物理研究所

21

衍射增强CT的原理

峰位像

左腰0度像



左腰180度像

$$\theta = \frac{\partial n_1}{\partial x} + \frac{\partial n_2}{\partial x} + \frac{\partial n_3}{\partial x} + \dots + \frac{\partial n_N}{\partial x}$$

$$= \frac{1}{C_L} \frac{I_L - I_H}{I_L + I_H}$$

$$= \frac{1}{C_L} \frac{I_L(\Theta) - I_L(\Theta + \pi)}{I_L(\Theta) + I_L(\Theta + \pi)}$$

只需要在必要位置360度旋转样品, 即可获得样品在0-180度范围内的投影像。

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

22

探测器的选择



了解探测器的像素尺寸, 一般情况下像素尺寸的2~3倍是实际空间分辨率。

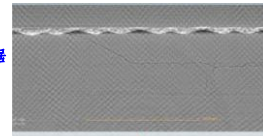
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

23

投影数目的选择

720张投影数据



2000张投影数据

Application	Ns	Np
Nuc Med	64	101
Nuc Med	128	201
x-ray CT	512	804
x-ray CT	1024	1608

投影数目:

$$\frac{\pi}{2} * N$$

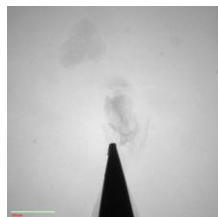
N为样品直径, 用像素数表示

2013-11-18

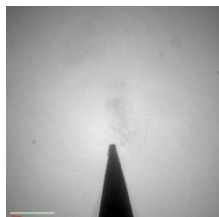
中国科学院高能物理研究所

24

能量的选择



40Kev



150 Kev

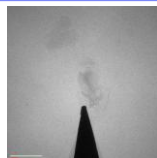
透过率=未被吸收的/直通光: 20%~30%

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

25

曝光时间的设定

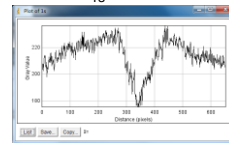
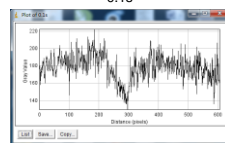


0.1s



1s

16bit探测器:
10000光子数
12bit探测器:
3000光子数

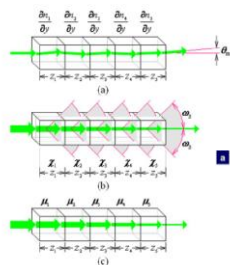


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

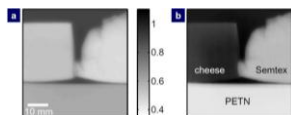
26

衍射增强的信息分离方法



光强方程:

$$I_H = I_0(1 - \tilde{\mu}t - \tilde{\chi}t)R\left(\frac{\theta_D}{2} + \theta_m\right) + I_0\tilde{\chi}t\frac{\theta_D}{2\cos\theta_m}$$



吸收像

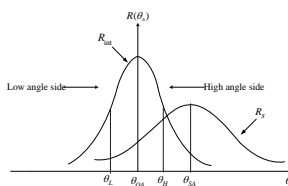
散射像

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

27

衍射增强的信息分离方法



吸收系数: $\mu_t t = -\ln\left(\frac{\Omega}{\Omega_{int}}\right)$

消光系数: $\chi t = -\ln(I_{peak}/I_0) + \mu_t t$

散射宽度: $\omega_s = \sqrt{\omega_R^2 - \omega_l^2}$

折射角: $\theta = \theta_{OA} - \theta_{SA}$

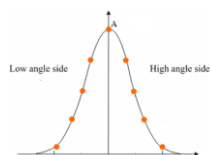
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

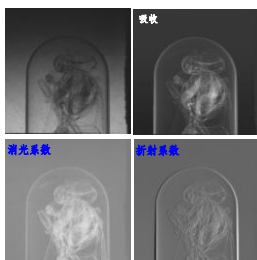
28

衍射增强的信息分离方法

实验过程:



光路中放置样品和不放置样品时,
旋转分析晶体采集两套数据



吸收像

散射像

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

29

3 数据处理

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

30

DEIreconstructor的使用

数据导入

播放

校正

算法选择

校正优化

重建信息输入

图像显示窗口

投影数据路径显示

背景数据路径显示

信息分离算法

BSRF 4W1A

Projection

Background

Save Reconstruction

Angle

RotAxis

Find R&A

Reconstruction

Step

Rebuild

OK

Cancel

Help

推荐配置: 64位操作系统, 8G以上内存, 4核以上CPU

最低配置: 32位操作系统, 2G内存, 单核CPU

中国科学院高能物理研究所

31

DEIreconstructor的使用

● 软件安装

双击DEIReconstor_pkg.exe文件

DEIReconstructor_pkg.exe

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

32

DEIreconstructor的使用

名称

修改日期

类型

使用说明书

重建程序

DEIReconstructor

DEIReconstructor.prg

DEIReconstructor_pkg

MCRInstaller

readme

2013/11/14 14:46

2013/11/14 14:46

2012/12/18 10:05

2012/12/18 10:18

2012/12/18 10:20

2012/12/18 10:21

2012/2/9 21:43

2012/12/18 10:18

文件夹

文件夹

Microsoft Word

应用程序

PRJ 文件

应用程序

应用程序

文本文档

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

33

DEIreconstructor的使用

● 软件工作流程

投影图像的导入与导出

重建算法选择或自定义

投影分圈算法重建

投影曲线拟合

图像裁剪

投影优化

投影优化

完成数据校正

投影数据重建

投影数据X轴方向数据重建

投影数据Y轴方向数据重建

图像格式转换

图像保存

图像灰度

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

34

DEIreconstructor的使用

● 数据导入和显示

InputPath

Projection

Find

Background

Find

Save Reconstruction

Find

Play 菜单

Play

Find

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

35

DEIreconstructor的使用

● 数据校正: correct菜单, optimization菜单

Correct

Angle

RotAxis

Find R&A

Optimization

Angle

RotAxis

Correct All

通过计算得到一个理论值: Angle 和 RotAxis

通过扫描的方法对Angle 和 RotAxis进行优化。

例子: 理论计算得到Angle=1 那么在 Angle=0.8-1.2之间分别重建, 确定Angle的最佳值。

2013-11-18

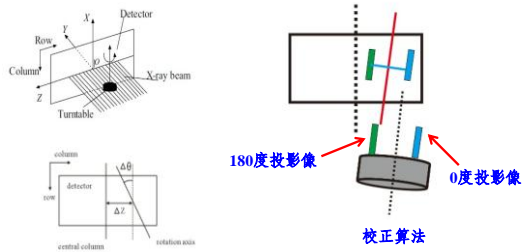
中国科学院高能物理研究所

36

46

DEIreconstructor的使用

● 转轴校正



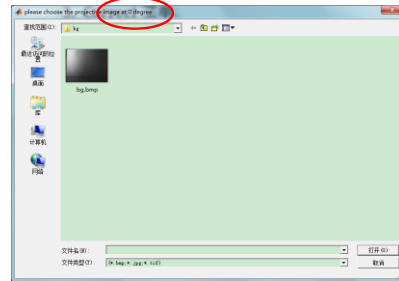
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

37

DEIreconstructor的使用

选择转台在0°下采集的样品投影数据



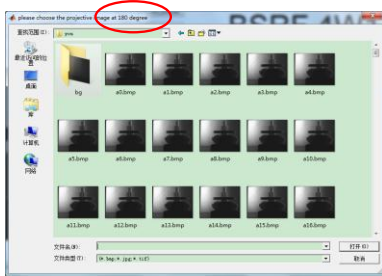
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

38

DEIreconstructor的使用

选择转台在0°下采集的样品投影数据



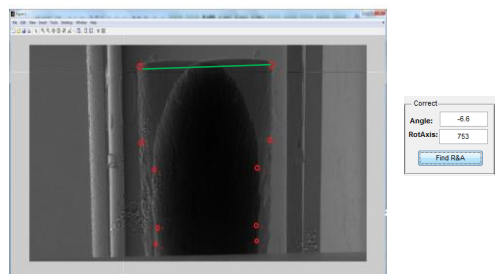
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

39

DEIreconstructor的使用

选择五组对称的特征点，自动计算出Angle和RotaAxis



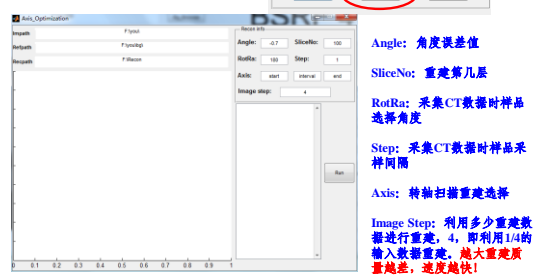
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

40

DEIreconstructor的使用

● 转轴优化界面，重建界面



2013-11-18

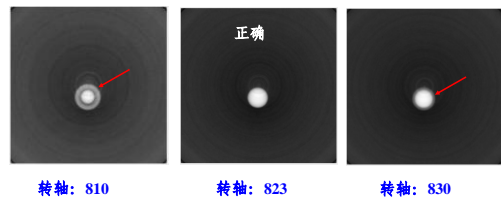
中国科学院高能物理研究所

41

DEIreconstructor的使用

● 转轴最佳值判断 (DEI-CT) :

转轴错误，会发生重影现象!



2013-11-18

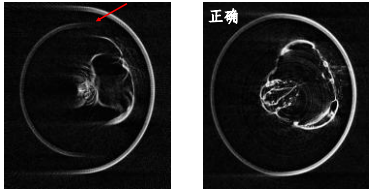
中国科学院高能物理研究所

42

DEIreconstructor的使用

● 转轴最佳值判断 (DPI-CT) :

转轴错误, 重建图像会不闭合!



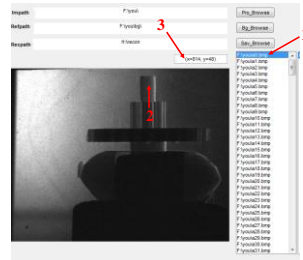
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

43

DEIreconstructor的使用

● 快速找转轴, 适合样品衬度差, 无法利用Correct菜单找到特征点情况。



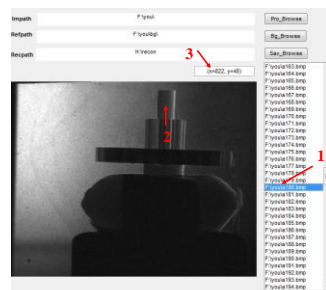
1. 打开0度下投影图像图片
2. 选取样品上某一点
3. 读取 X_0 坐标值

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

44

DEIreconstructor的使用



1. 打开180度下投影图像图片
2. 选取样品上某一点
3. 读取 X_{180} 坐标值

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

45

DEIreconstructor的使用

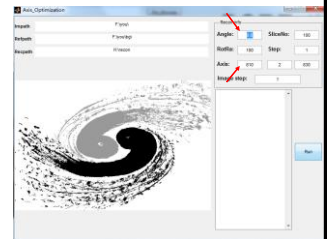
● 得到转轴坐标的估计值

$$X = (X_0 + X_{180}) / 2$$

通常转台的角度误差小于1度

直接在 Optimization菜单中, 打开 RotAxis 对话框,

在Angle中输入1
在Axis中输入X附近的值进行扫描重建, 查找最优化的转轴值



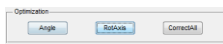
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

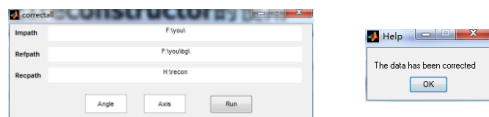
46

DEIreconstructor的使用

● 找到转轴和转角后, 点击Optimization菜单中的 CorrectAll选项, 打开菜单



● 输入Angle 和 Axis 值, 点击Run完成数据校正。软件会提示校正完毕



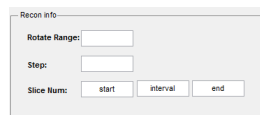
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

47

DEIreconstructor的使用

重建信息输入框: Recon info



Rotate Range: 采集CT数据时样品的旋转范围, 一般情况下都填180, 表示样品在CT数据采集过程中, 从0° 旋转到180°。

Step: 采集CT数据的过程中, 投影数据的采样间隔, 1即为1°

Slice Num: 重建第几层断层图像。
Start 从第几层开始重建
End 重建到第几层

Interval: 允许向计算机中一次导入多少层的断层数据进行同时重建

32位操作系统, 4G内存, Interval<=10; 64位系统, 32G内存, Interval<=1000

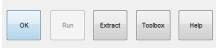
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

48

DEIreconstructor的使用

输入信息判断



只有利用CorrectAll校正完数据后,才可最终重建



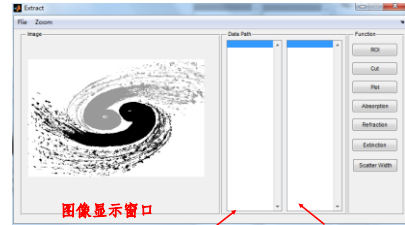
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

49

DEIreconstructor的使用

- 信息分离算法软件界面 (点击主界面Extract)



图像显示窗口

投影数据路径显示 背景数据路径显示

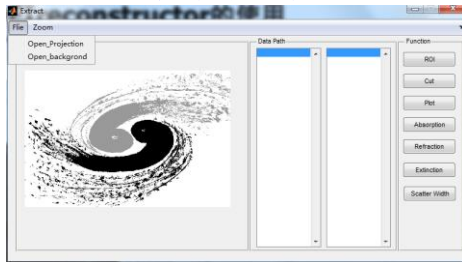
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

50

DEIreconstructor的使用

- 点击File 载入背景图像和投影图像



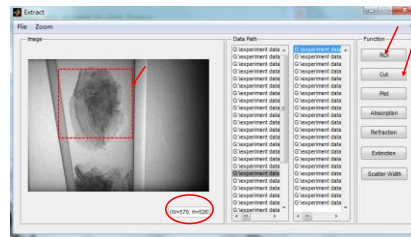
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

51

DEIreconstructor的使用

- 投影图像尺寸大会造成计算速度降低,裁剪图像可以提高计算速度



1. 点击ROI
2. 在图像上选取感兴趣区
3. 点击Cut按钮保存数据

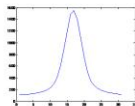
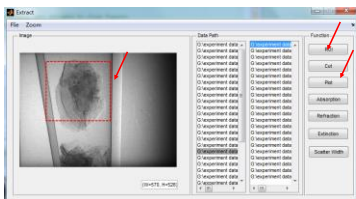
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

52

DEIreconstructor的使用

1. 点击ROI
2. 在图像上选取感兴趣区
3. 点击Plot按钮, 可以画出该区域进行平均灰度后的摇摆曲线



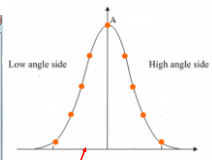
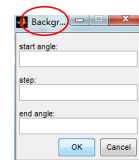
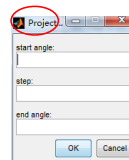
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

53

DEIreconstructor的使用

- 点击Refraction按钮, 会要求输入分析晶体的转动信息



Start angle: 起始转动角度
End angle: 停止时角度
Step: 步长

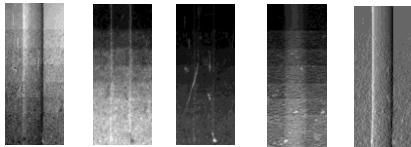
需要输入横坐标信息

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

54

DEIreconstructor的使用



CT投影数据 消光信息 散射宽度信息 吸收信息 折射信息

DEIreconstructor: A software for diffraction enhanced imaging processing and tomography reconstruction,(2014) Chinese Physics C.

2013-11-18

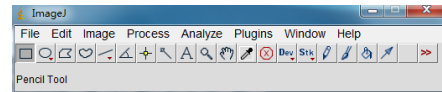
中国科学院高能物理研究所

55

ImageJ 的使用

- ImageJ has been written and is maintained by Wayne Rasband at the National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA

- <http://imagej.nih.gov/ij/>



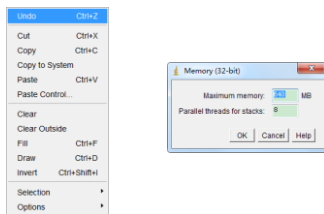
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

56

ImageJ 的使用-设置内存

- Under Edit>Options>Memory & Threads



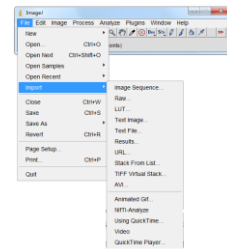
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

57

ImageJ 的使用-数据的导入

- 切片数据、图像数据、Raw数据
- File>import



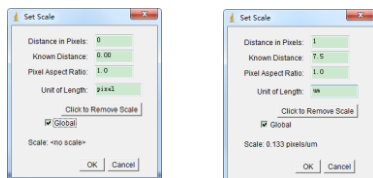
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

58

ImageJ 的使用-标尺的设置

- Analyze>set scale



初始值

设置后

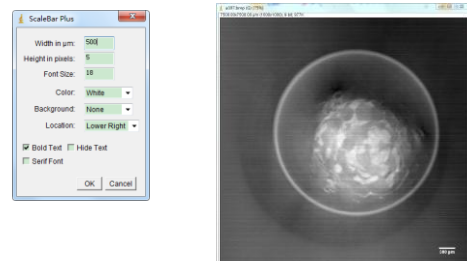
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

59

ImageJ 的使用-标尺的加载

- Analyze>tool>scale bar



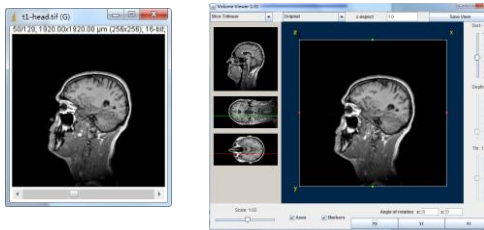
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

60

ImageJ 的使用-三维可视化显示

- Plugins>3D>volume Viewer
- Image>stacks>orthogonal views



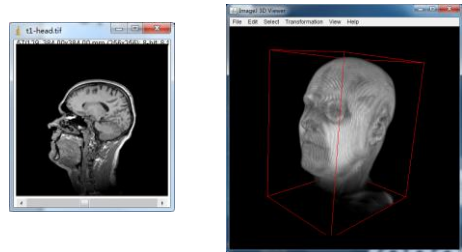
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

61

ImageJ 的使用-三维可视化显示

- Plugins>3D>imageJ 3D viewer



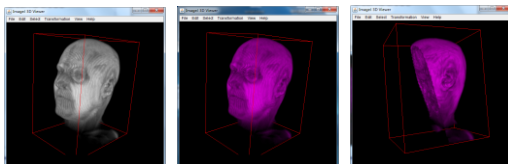
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

62

ImageJ 的使用-三维视频制作

- 颜色、阈值的调整: edit>attributes
- 三维图像的裁剪: edit>fill selection
- 动画输出: view>record 360deg rotation>save



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

63

ImageJ 的使用-其它工具箱的使用

- Plot ,measure函数
- Filter函数的使用
- 扣除背景
- 图像的运算,+,*,-.

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

64

中国科学院高能物理研究所

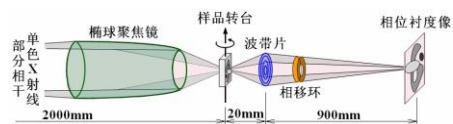
谢谢!

Thanks for Your Time!

纳米成像样品制备、数据采集及处理

黄万霞
2013.11.21

同步辐射纳米分辨CT系统



常用能量8keV

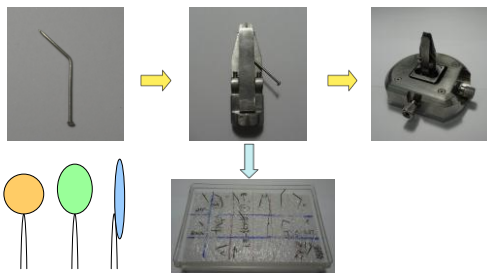
大视场模式：视场60 μ m \times 60 μ m，分辨率100nm

高分辨模式：视场15 μ m \times 15 μ m，分辨率50nm

样品尺寸60 μ m以内，样品处理非常重要！！

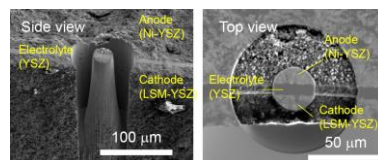
样品制备之一：粘在针尖上

- 大视场成像
- 样品：尺寸20~60 μ m，颗粒状（球状或条状）
- 工具：大头针、环氧树脂AB胶、显微镜

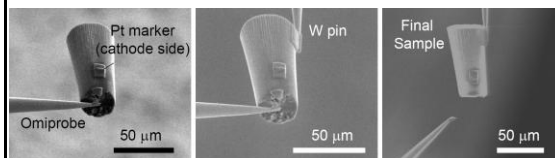


FIB 聚焦离子束刻蚀处理样品

1. FIB milling

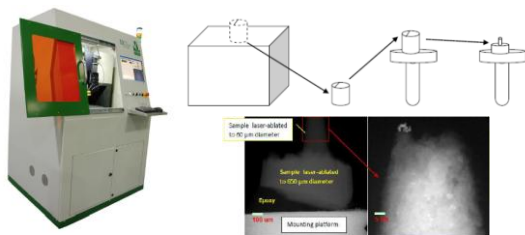


2. Lift-out



激光切割处理样品

- Stage1: 从大样品中切割出约600 μ m圆柱，需20min；
- Stage2: 激光切割，需20min，加工完的样品直径60~100 μ m。



Oxford Laser Micro-Machining Systems
Double Workstation Sample Preparation System
Model A-532DW

样品制备之二：吸附在膜上

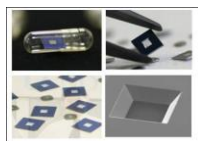
- 高分辨成像
- 样品：尺寸5~15 μ m，颗粒状、粉末状、细胞
- 工具：聚酰亚胺薄膜（25 μ m，50 μ m）、移液器（0.5-10 μ l）及枪头、超声波清洗机



- 操作简单
- 缺点：不能-90~90°采集，稳定性较差。

使用氮化硅薄膜窗

- 框架5mm×5mm，窗口2mm×2mm，膜厚200nm
- 框架7.5mm×7.5mm，窗口2.5mm×2.5mm，膜厚200nm

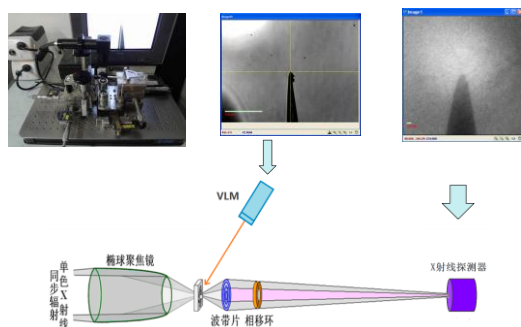


- 优点：比聚酰亚胺薄膜稳定性好
- 缺点：粘金颗粒时可能捅破SiN窗

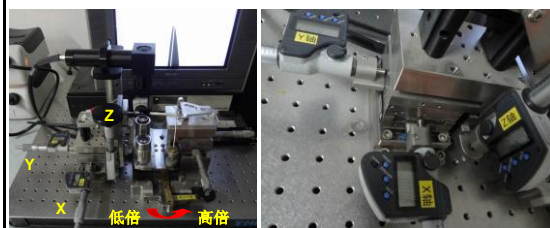
样品制备之三：细胞制备

- 将聚酰亚胺薄膜浸泡于纯水中，超声清洗10min，再用纯水洗涤两次；
- 放于培养台晾干，照射紫外线1h消毒；
- 细胞接种和培养；
- 药物处理后，用常温的PBS(磷酸缓冲液)洗涤细胞2-3次(注意：固定前观察细胞，贴壁密度控制在30%以下，细胞之间不要紧挨着)；
- 70%冰冷乙醇固定细胞30min；
- 重金属染色10-15min(0.1%-0.5%醋酸铀染色，或0.2%-1%的磷钨酸盐：盐的浓度根据细胞来调节)，用PBS洗涤1-2次；
- 50%，70%，80%，90%，100%浓度酒精分别脱水，每次脱水10min；
- 空气中干燥。

实验调节过程



Step1 在预准直系统中找到并挑选样品



低倍镜头(10X)下调样品XYZ
切换到高倍镜头(50X)下调
使样品位于屏幕中心

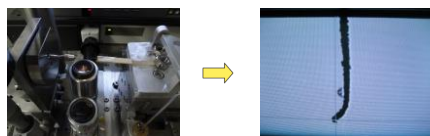
记下预准直系统样品的坐标值

Step2 在样品上粘标记物（金颗粒）

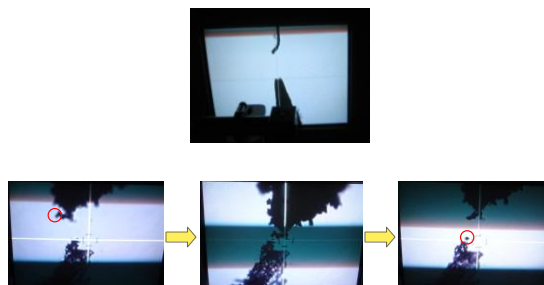
- 准备一根纤维将其固定在一根细长木片的末端，在纤维上粘上金颗粒(~3um)，固定在预准直显微镜的操作平台上。



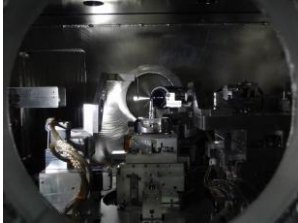
- 移动操作平台的XYZ轴将纤维调节到显微镜视场中



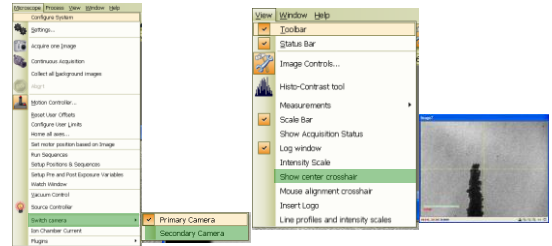
- 小心地慢慢地移动纤维去碰触样品，将金颗粒粘在样品上。



Step3 将样品放入纳米分辨成像设备中，样品坐标设成和预准直系统一致，样品转角 θ 转到-60度。



Step4 利用可见光显微镜VLM观察样品并将样品粗调至转轴上。



- 切换到VLM (Secondary Camera) 观察样品；
- 点击连续采集；
- 显示黄色十字中心线；
- 调节样品X轴和Y轴至视场中心；

调节样品转轴

- 旋转样品到30°和-150°（样品零点在-60°），用红色线分别标出样品位置，求出两根红线的中间位置；



- 移动样品Z轴位置，使得样品位于“中间位置”；
- 旋转样品到-60°，移动样品X轴，使得针尖到达红色“中间位置”



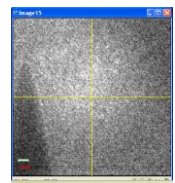
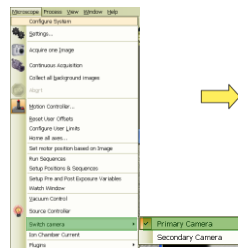
移动Z轴后

旋转样品到-60°

移动样品X轴后

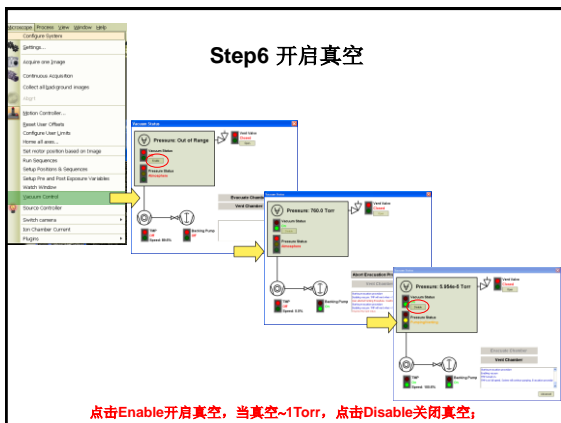
Step5 切换到X射线下找到样品

- 先停止采集，切换到X射线CCD (Primary Camera)，20倍镜头，点击连续采集。
- 移动样品X轴使样品靠近视场中央，移动Y轴找到想观察的样品部位。



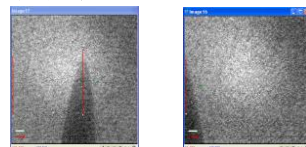
X射线CCD上样品成像
bin4或bin8，曝光时间2~5s

Step6 开启真空

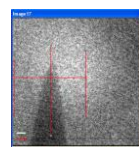


Step7 在X射线下精确调节样品转轴

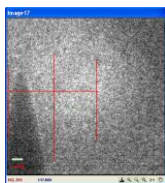
- 旋转样品到-90°和90°，用红色线分别标出样品位置，求出两根红线的中间位置；



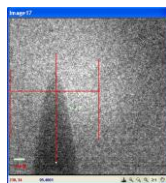
- 移动样品Z轴到两根红线中间位置；



- 旋转样品到0°，移动样品X轴到两根红线中间位置；
- 这样，样品就调到了转轴的轴心；样品的X，Y，Z坐标确定。



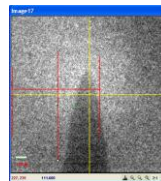
旋转样品到0°



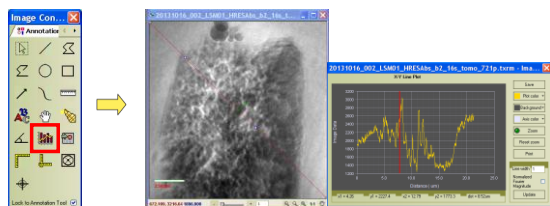
移动X轴到中间位置

Step8 调节样品转轴至视场中央

- 微调波带片 X轴，使样品位于十字叉丝中心。



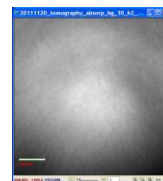
Step9 采集单张图像，确定成像参数



计数2000左右即可

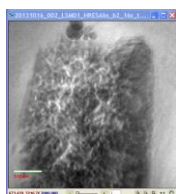
Step10 采集背景

- 将样品旋转至-90°，Z轴+1000；
- 按照已确定的成像参数，采集10张背景；



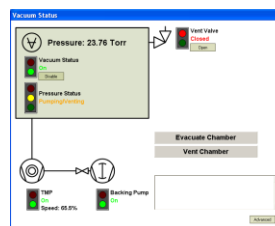
Step11 采集CT数据

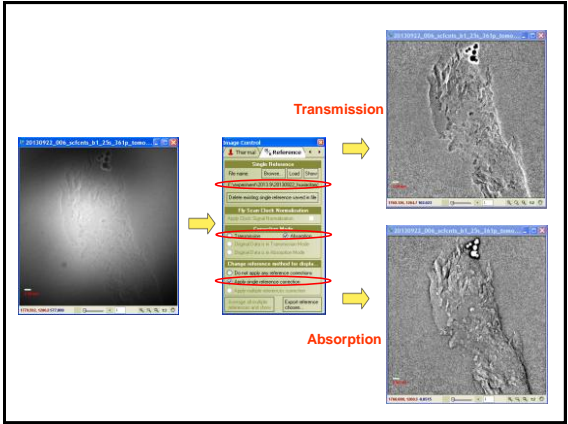
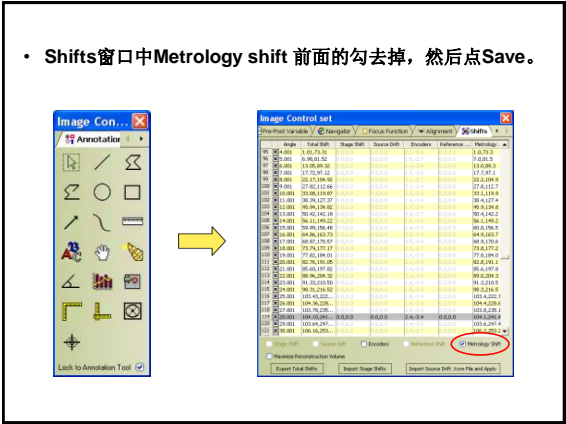
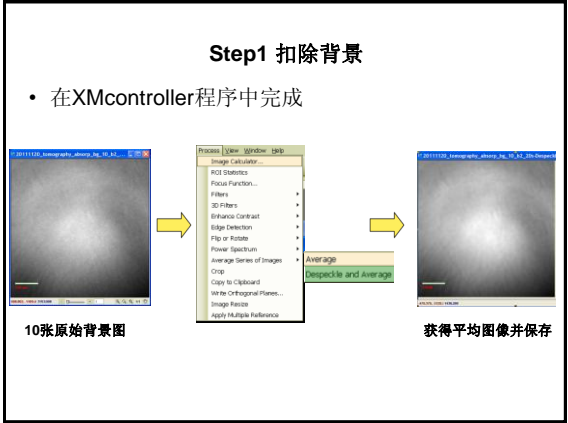
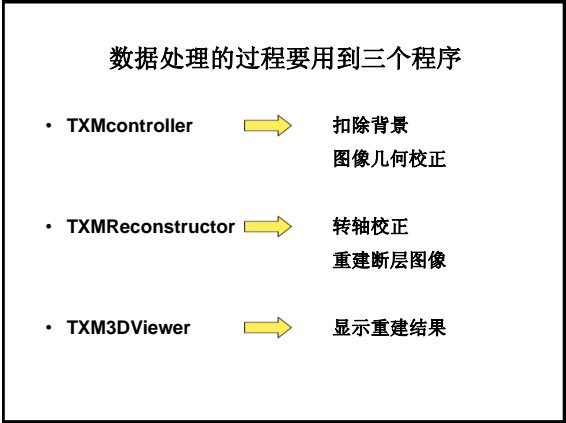
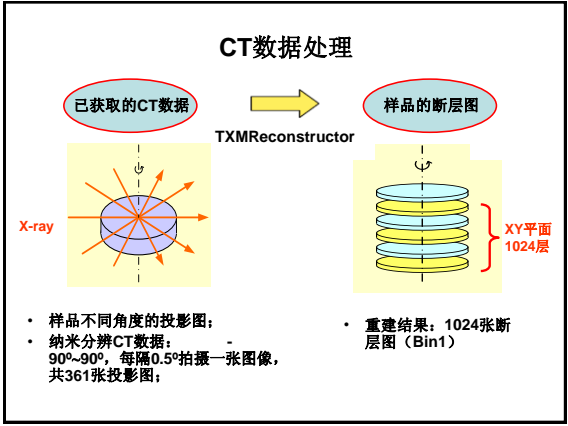
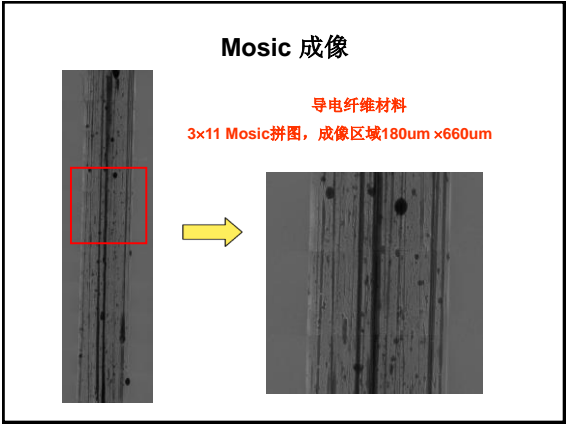
- 样品Z轴-1000，移回；
- 采集CT数据，参数：-90°~90°，361p或721p



Step12 取出样品

- 采集完成后，先检查数据，确认无误；
- 真空放气，点 Open；
- 真空腔内恢复常压后，取出样品。





Step2 图像几何校正

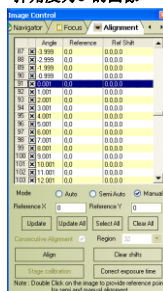
目的:

- 消除样品转动过程中上下左右振动和热膨胀的影响
- 计算样品转轴偏离图像中心的偏移量的基础

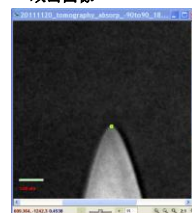
具体方法:

- 对每一张图像上的标记物（金颗粒）的位置进行标记

打开Alignment, 选择角度为0°的图像

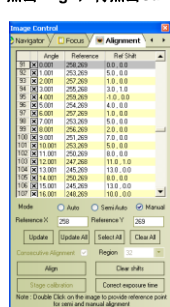


选取图像上的特征点, 双击图像

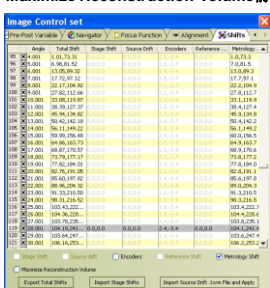


- 每双击一次, 图像会自动先向负角度方向下一个角度移动;
- 在每一张图像上重复点击同一特征点, 直到负角度方向的图像校正完;
- 程序会自动跳回到0度;
- 此时选择正方向第一张图像, 双击特征点, 图像开始向正方向角度移动, 直到完成所有图像。

点击Align, 再点击Save



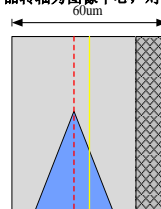
切换到Shift窗口, Maximize Reconstruction Volume前打勾



上述转轴校正过程可重复多次, 效果更好

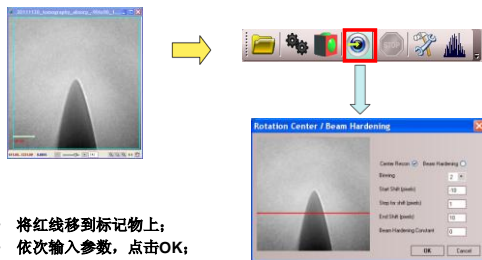
Step3 转轴校正 (计算Center Shift值)

- 目的: 计算样品转轴偏离视场中心的偏移量
- 最后重建的图像以样品转轴为图像中心, 对称裁剪

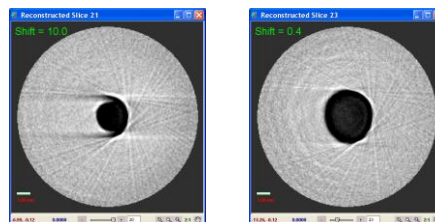


↑
裁掉

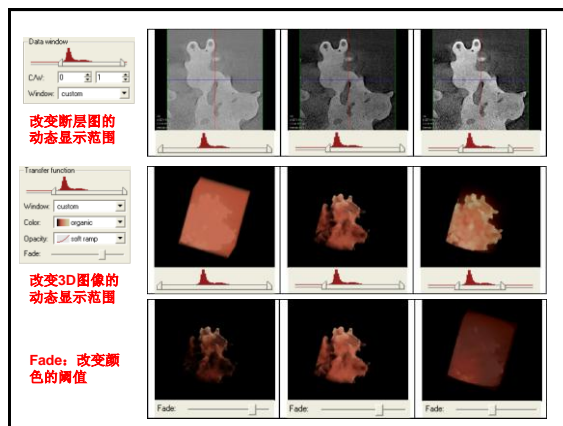
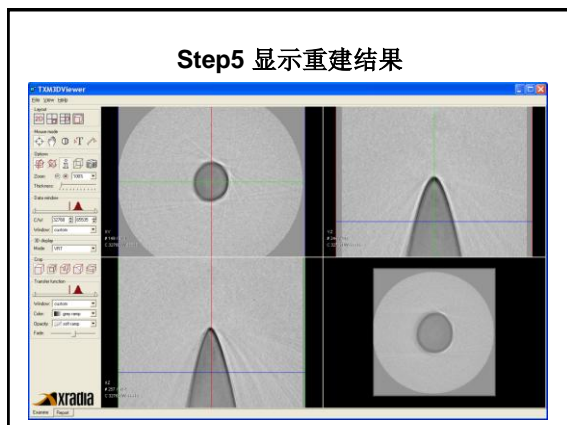
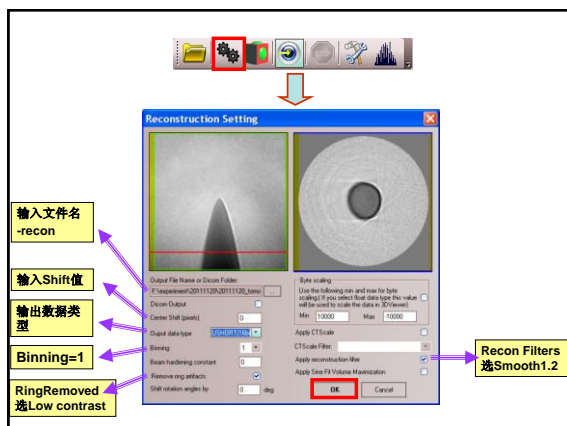
- 打开TXMReconstructor程序;
- 打开前面已做完转轴校正的CT数据;



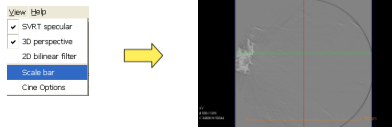
- 将红线移到标记物上;
- 依次输入参数, 点击OK;



- 得到Shift分别为-10,-9,-8...0...,8,9,10时, 红线那一层的断层图;
- 当重建断层层面为封闭图像 (如封闭的圆环), 就是合适的shift的值。
- 如果都没有找到合适的Shift值, 在更改Shift: -40--10或者10-40, 再寻找合适的Shift值。



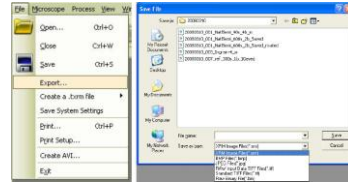
在断层图上显示标尺



Step6 数据和实验结果导出

• 使用TXMcontroller导出数据

1. 导出单图片文件 (*.xrm)



可导出数据类型: BMP、JPEG、RAW TIFF、TIFF、BIN

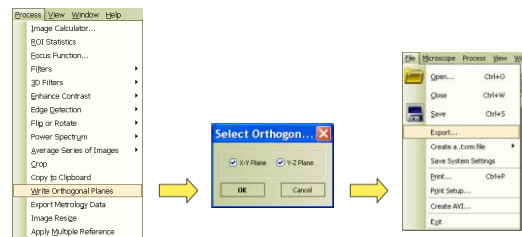
2. 导出多图片文件 (*.txrm)



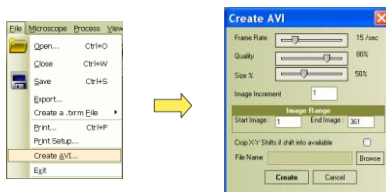
导出XY断层图

可导出数据类型: BMP、JPEG、RAW TIFF、TIFF、BIN

3. 导出XZ和YZ平面数据

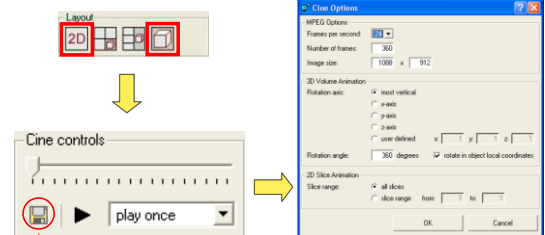


4. 将多图片文件 (*.txrm)制作成AVI文件

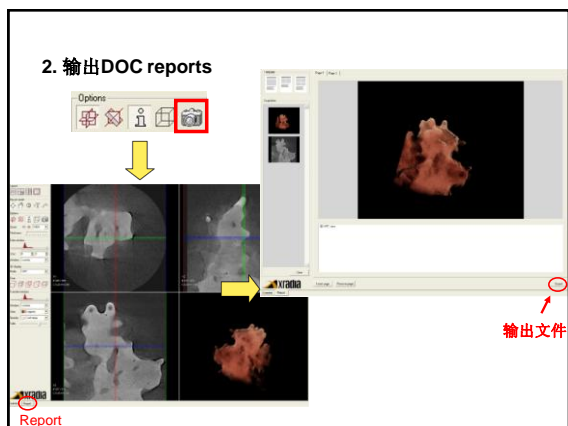


• 使用TXM3DViewer输出结果

1. 制作MPEG (*.mpg) 动画



点击即开始输出动画



角度信号成像原理

朱佩平
2013年11月22日

引言

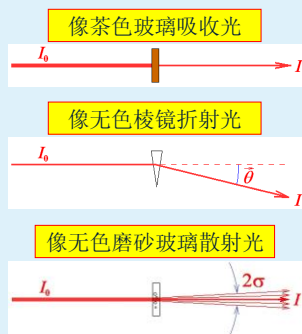
- 借用无线电载波传输音频信号的物理概念，可以为角度信号成像原理提供清晰的物理图像，可以为各位提供一个新的分析问题和解决问题的思路。

提纲

- 1 角度成像信号
- 2 空间载波
- 3 角度信号调制空间载波
- 4 检波器
- 5 定量信息的提取
- 6 两种角度信号成像方法之间的关系

角度成像信号

被检物体产生的三种角度信号

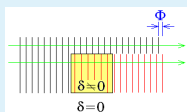


物质厚度未知，如何表达相位和吸收？

- 参考真空相位方法可以解决这个问题：

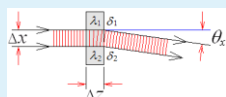
$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_{\text{样品}} - \Phi_{\text{真空}} = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1) dz = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1) dz \\ A &= A_0 \exp \left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (n-1) dz \right) = A_0 \exp \left(i \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l (-\delta + i\beta) dz \right) = A_0 \exp(i\Phi) \exp \left(-\frac{M}{2} \right) \\ \Phi &= -\frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l \delta dz = -\frac{2\pi}{\lambda} \int_0^l \delta dz \quad M = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^l \beta dz = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^l \mu dz \end{aligned}$$

相位和折射角的关系



$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz$$

$$\Phi(x, y) = -k \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y, z) dz$$

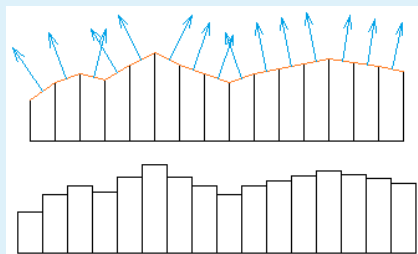


δ 越大 λ 越小

$$\begin{aligned} \theta_x(x, y) &= \frac{\text{光程差}}{\Delta x} = \frac{(n_2 - n_1) \Delta z}{\Delta x} \\ &= -\frac{(\delta_2 - \delta_1) \Delta z}{\Delta x} = -\frac{\Delta \delta}{\Delta x} \Delta z \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz \end{aligned}$$

$$\theta_y(x, y) = \frac{\text{光程差}}{\Delta y} = -\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} dz$$

像素、相位、折射角之间的关系



折射角
相位导数

相位

像素

吸收信号的表达

- 吸收是零角度信号，就像 茶色玻璃吸收可见光



- 可以表达为

$$O(\mathcal{G}; x, y)_{\text{absorption only}} = \delta(\mathcal{G}) \exp(-M(x, y))$$

- 其中

$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz$$

- 其中 μ 是线性吸收系数。

折射信号的表达

- 折射是角度偏转信号，就像无色棱镜折射可见光



- 可以表达为

$$O(\mathcal{G}; x, y)_{\text{refraction only}} = \delta(\mathcal{G} - \theta_x(x, y))$$

- 其中

$$\theta_x(x, y) = -\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz$$

- 其中 δ 是折射率实部衰减率。

散射信号的表达

- 散射也是角度偏转信号



- 可表达为

$$O(\mathcal{G}; x, y)_{\text{scattering only}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(x, y)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\mathcal{G}}{\sigma(x, y)}\right)^2\right]$$

- 其中 $\sigma^2(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(x, y, z) dz$ 描述光束散射部分的增加，

- ω 为线性散射系数。

Chou C Y et al., *Phys. Med. Biol.*, **52**: 1923 (2007).

散射信号的更准确表达

- 散射也是角度偏转信号



- 可表达为

$$O(\mathcal{G}; x, y)_{\text{scattering only}} = \delta(\mathcal{G}) \exp(-\Gamma(x, y)) + \frac{1 - \exp(-\Gamma(x, y))}{\sqrt{2\pi}\sigma(x, y)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\mathcal{G}}{\sigma(x, y)}\right)^2\right]$$

- 其中 $\Gamma(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(x, y, z) dz$ 描述光束中心部分的衰减，

- γ 为线性消光系数；

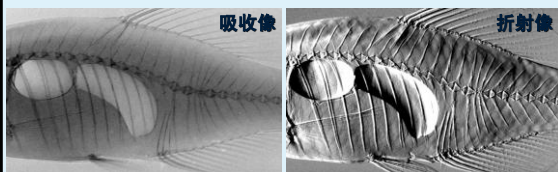
- 其中 $\sigma^2(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(x, y, z) dz$ 描述光束散射部分的增加，

- ω 为线性散射系数。

Oltulu O, 2003 *Ph. D. Dissertation*

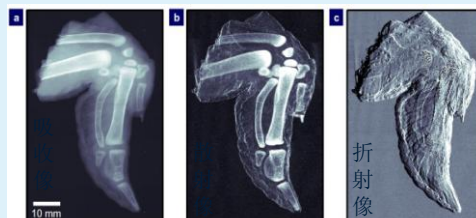
折射角成像的例子

- 下图是在北京同步辐射成像站获得的研究成果，鱼鳔是X射线凸透镜，鱼骨是X射线凹透镜，向左折射的光强是亮的，向右边折射的光强是暗的。



散射角成像的例子

- 下图是瑞士光源的成像研究成果，骨骼中多孔结构就像磨砂玻璃，散射的光强是亮的，直射的光强是暗的。

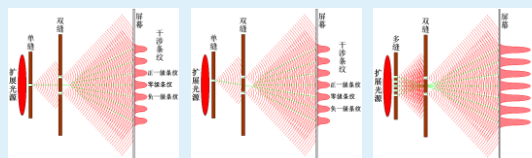


空间载波

- 两种空间载波：
 - (1) 光栅干涉条纹
 - (2) 光栅投影条纹

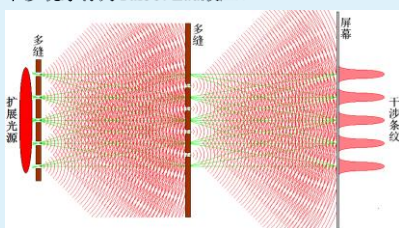
产生双缝干涉条纹的方法

- 单缝光源产生双缝干涉条纹；
- 移动单缝光源，双缝干涉条纹反向移动；
- 多缝光源产生双缝干涉条纹，相邻缝光源的干涉条纹错位一个周期。

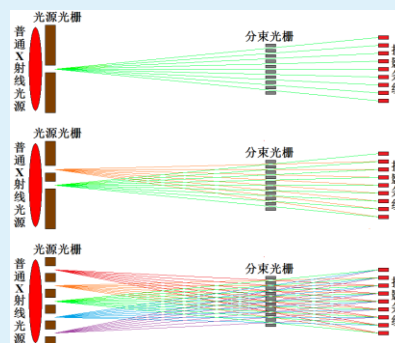


光栅干涉条纹产生原理

- 每一单缝光源独自是相干光源，可使多缝产生干涉条纹；
- 虽然相邻两缝光源之间不相干，但是相邻两缝产生的干涉条纹之间错位一个周期。
- 这种干涉现象称为Talbot-Lau效应。



光栅投影条纹产生原理

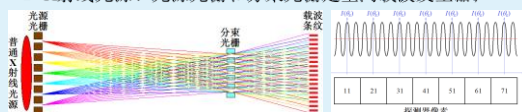




角度信号调制空间载波

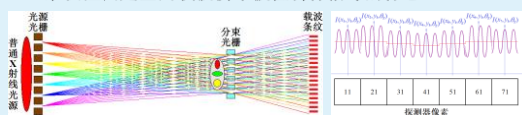
空间载波的产生

- X射线光源、光源光栅和分束光栅是空间载波发生器；

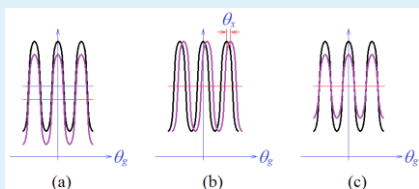


样品的角度信号调制空间载波

- 条纹扭曲是空间载波携带被检物体信号的标志。



调制空间载波的三种方式



- (a) 吸收降低载波条纹本底光强，产生调制本底的空间载波；
- (b) 折射移动载波条纹的相位，产生调制相位的空间载波；
- (c) 散射降低载波条纹的幅度，产生调制幅度的空间载波。

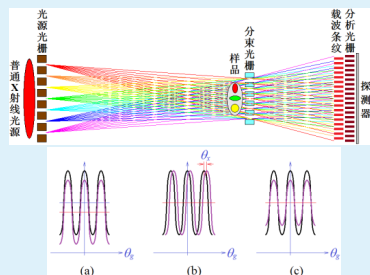


检波器

- 无线电中有一维时间信号检波器；
- 分析光栅是二维空间信号检波器，分析光栅是一维角度信号检波器。

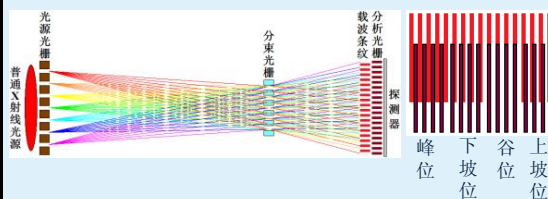
国外普遍采用全波检波方法

- 用分析光栅分别扫描无样品和有样品的空间载波，
- 对比两种波形，提取三种成像信号。

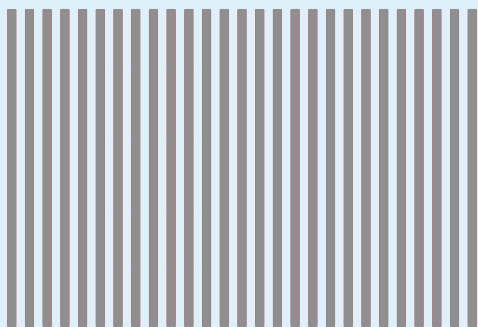


我们采用定位检波方法

- 无须知道整个波形，只须考虑四个对称位置的检波效果，就可获取样品的三种成像信号；
- 峰位（亮场）、下坡位（半亮场）、谷位（暗场）、上坡位（半亮场）

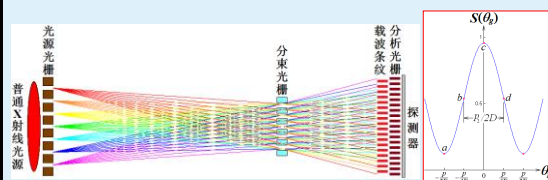


分析光栅对无信号空间载波的作用

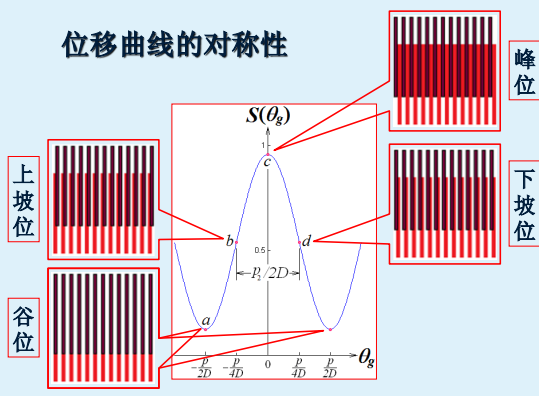


分析光栅对无信号空间载波的作用

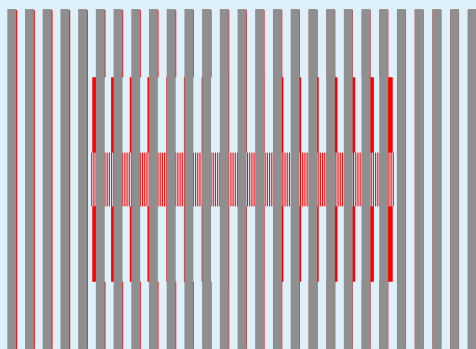
- 分析光栅连续移动，探测器每一个像素都测得一条位移曲线；
- 在数学上，这个操作是相关运算。



位移曲线的对称性

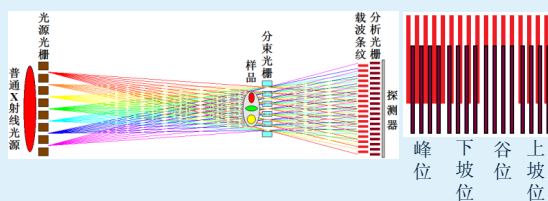


分析光栅对有信号空间载波的作用



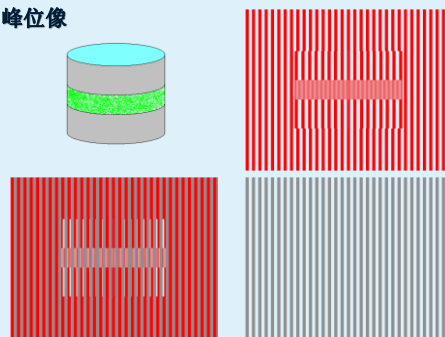
四种像的对称性

- 峰位像，下坡像，谷位像，上坡像



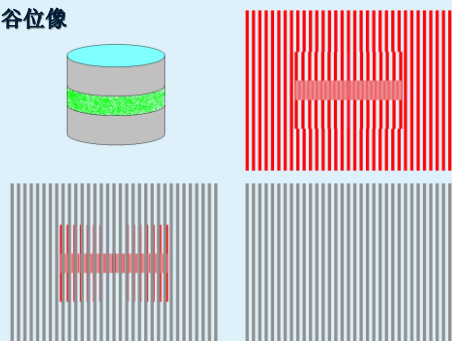
峰位像和谷位像的对称性

- 峰位像



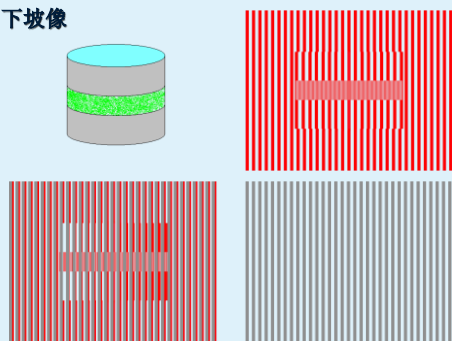
峰位像和谷位像的对称性

■ 谷位像



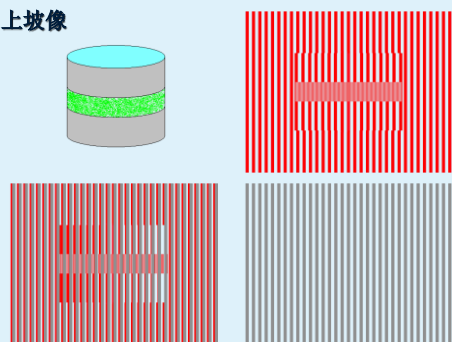
上坡像和下坡像的对称性

■ 下坡像

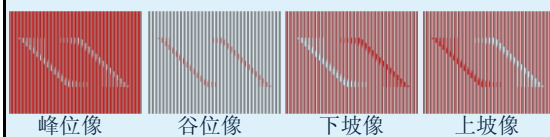
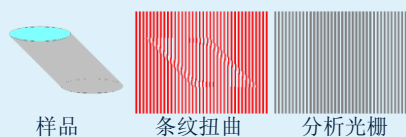


上坡像和下坡像的对称性

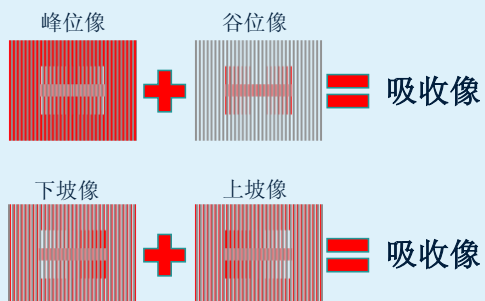
■ 上坡像



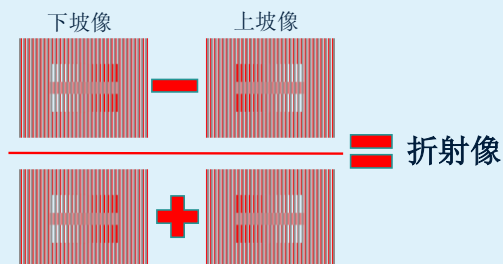
斜圆柱样品四种像的对称性



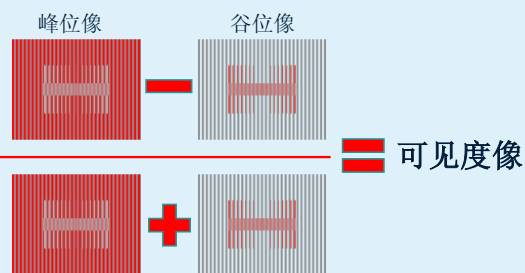
吸收像的分离提取



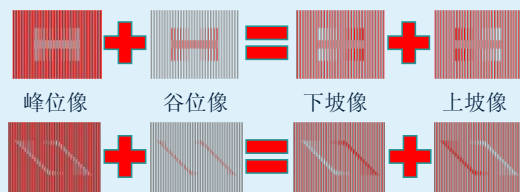
折射像的分离提取



可见度像的分离与提取

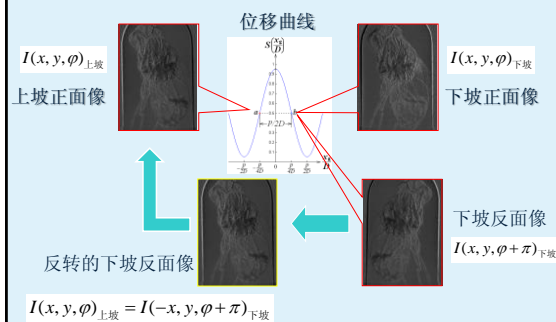


三个检波位置足以

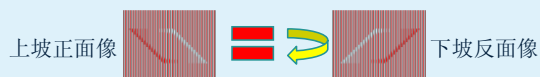


$$I_{\text{峰}}(x, y) + I_{\text{谷}}(x, y) = I_{\text{下}}(x, y) + I_{\text{上}}(x, y)$$

用拍下坡像的方法获得上坡像



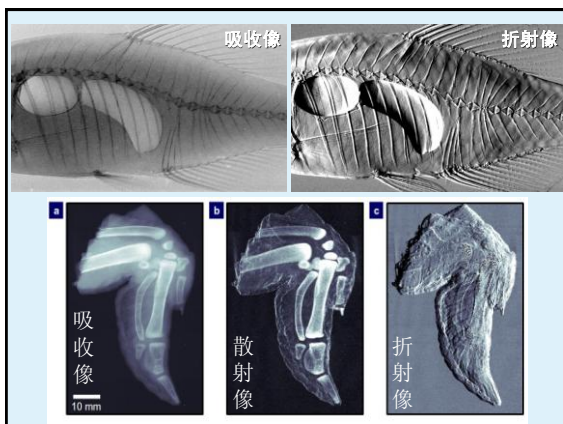
利用正反像关系，只需两个检波位置；若只提取吸收和折射两种信号，一个检波位置足以。



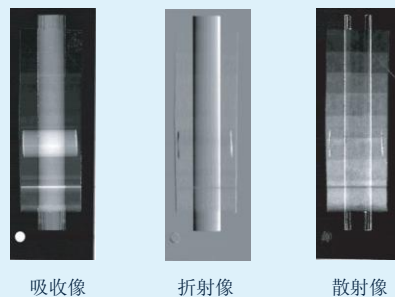
$$I_{\text{上}}(x, y, \varphi) = I_{\text{下}}(-x, y, \varphi + \pi)$$



$$I_{\text{下}}(x, y, \varphi) = I_{\text{上}}(-x, y, \varphi + \pi)$$



三种成像结果

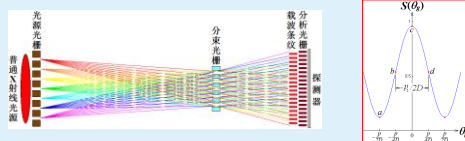


5

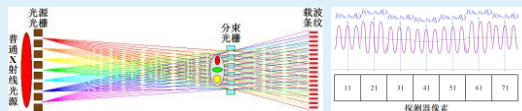
定量信息的提取

新方法中的数学

- 分析光栅相对载波条纹位移，是一个相关运算

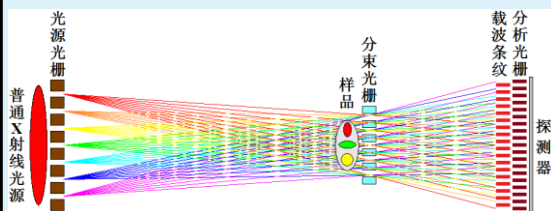


- 角度信号对载波条纹的调制，是一个卷积运算



新方法中的数学

- 角度信号和位移曲线的卷积描述光栅剪切成像过程。



三种信号成像的近似解析解

- 吸收像、折射角像、散射角方差像

$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz = \ln \frac{2I_0 \bar{S}}{I_{\perp}(x, y) + I_{\parallel}(x, y)}$$

$$\theta_{\perp}(x, y) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz = \left(\frac{p}{2\pi D} \right) \arctan \left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} \right)$$

$$\sigma^2(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(x, y, z) dz = 2 \left(\frac{p}{2\pi D} \right)^2 \ln \frac{V_0}{\sqrt{\left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} \right)^2 + \left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} \right)^2}}$$

三种信号都可以用于CT重建

$$\mu(x, y, z) = \int_0^{\pi} \cos \varphi d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} [M(x, \varphi, z) * \mathcal{F}^{-1}\{|\rho|\}] \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - x_s) dx_s$$



$$n(x, y, z) = \int_0^{\pi} d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} \left[\theta_{\perp}(x, \varphi, z) * \mathcal{F}^{-1}\left\{ \frac{|\rho|}{2\pi i \rho} \right\} \right] \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - x_s) dx_s$$



$$\omega(x, y, z) = \int_0^{\pi} \cos \varphi d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} [\sigma^2(x, \varphi, z) * \mathcal{F}^{-1}\{|\rho|\}] \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - x_s) dx_s$$

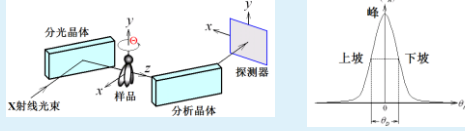


6

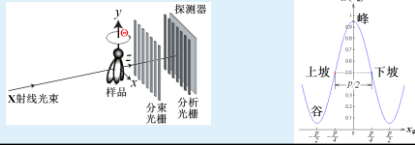
两种角度信号成像方法之间的关系

角度信号成像的共同特征

- 衍射增强成像中有分光晶体、分析晶体、摇摆曲线

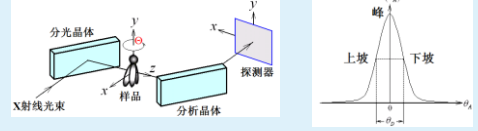


- 光栅剪切成像中有分束光栅、分析光栅、位移曲线

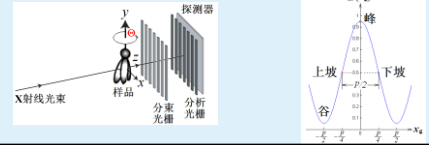


角度信号响应函数

- 摇摆曲线是衍射增强成像中的角度信号响应函数



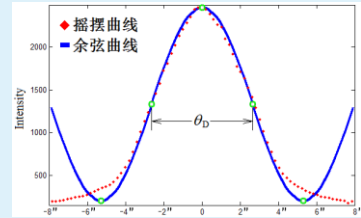
- 位移曲线是光栅剪切成像中的角度信号响应函数



两种成像之间的相同和不同

- 角度信号相同；
- 角度信号响应曲线都有上坡、峰、下坡；
- 利用角度信号响应曲线三个位置，可以获得吸收、折射和散射信息；
- 用余弦曲线拟合位移曲线，推导出提取吸收、折射和散射信息的简便方法；
- 若用余弦曲线拟合摇摆曲线，则同样可以推导出提取吸收、折射和散射信息的简便方法。
- 摇摆曲线是单峰曲线，没有谷；
- 位移曲线是周期曲线，有峰有谷。

余弦曲线拟合摇摆曲线



$$R(g) = R \left[1 + V_0 \cos \left(\frac{\pi}{\theta_D} g \right) \right]$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{R_{\max} + R_{\min}}{2} \\ V_0 &= \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} + R_{\min}} \end{aligned}$$

三种信号成像的近似解析解

- 吸收像、折射角像、散射角方差像

$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz = \ln \frac{2I_0 R}{I_{\perp}(x, y) + I_{\parallel}(x, y)}$$

$$\theta_s(x, y) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz = \left(\frac{\theta_D}{\pi} \right) \arctan \left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{2I_{\parallel}(x, y) - I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)} \right)$$

$$\sigma^2(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(x, y, z) dz = 2 \left(\frac{\theta_D}{\pi} \right)^2 \ln \frac{V_0}{\sqrt{\left(\frac{2I_{\parallel}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} - 1 \right)^2 + \left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} \right)^2}}$$

当散射方差为零时

- 可以证明：用余弦曲线拟合摇摆曲线，并忽略散射时，吸收像和折射角像的表达式为

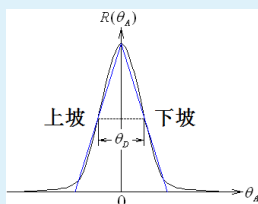
$$M(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dz = \ln \frac{2I_0 R}{I_{\perp}(x, y) + I_{\parallel}(x, y)}$$

$$\theta_s(x, y) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} dz = \left(\frac{\theta_D}{\pi} \right) \arcsin \left(\frac{I_{\parallel}(x, y) - I_{\perp}(x, y)}{I_{\parallel}(x, y) + I_{\perp}(x, y)} \right)$$

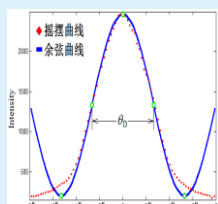
- 已知：用三角曲线拟合摇摆曲线，不考虑散射时，吸收像和折射角像的表达式为

$$M(x, y) = \ln \frac{2I_0 R \left(\frac{\theta_D}{2} \right)}{I''(x, y)_{\parallel} + I''(x, y)_{\perp}} \quad \theta_s(x, y) = \frac{\theta_D}{2} \frac{I''(x, y)_{\parallel} - I''(x, y)_{\perp}}{I''(x, y)_{\parallel} + I''(x, y)_{\perp}}$$

差别来自不同的曲线近似



三角曲线拟合摇摆曲线



余弦曲线拟合摇摆曲线

请各位专家批评指正

X射线纳米CT成像原理 以及在生命和材料科学中的应用

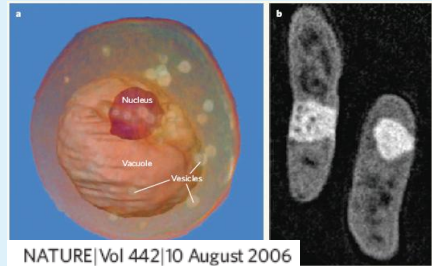
朱佩平

2013-11-22

Nanotomography comes of age

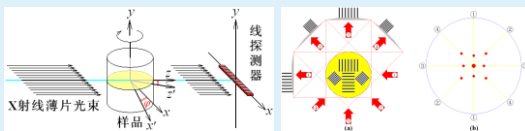
David Attwood

The use of X-rays to construct three-dimensional tomographic images is well established in medicine. The same principle is being extended to the nanoscale, bringing us startlingly accurate pictures of tiny objects.



X射线CT的原理

- X射线CT已经广泛应用于医学、工业、安检，其基本原理是利用投影的傅立叶变换，求得待测样品断层的傅立叶变换，并重建断层的空间结构。



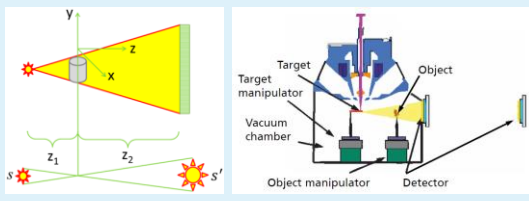
- 傅立叶中心切片定理：投影的傅立叶变换是二维傅立叶频谱在垂直投影方向的一个切片。

实现X射线纳米CT的两种方法

- 投影放大成像方法
- 透镜放大成像方法

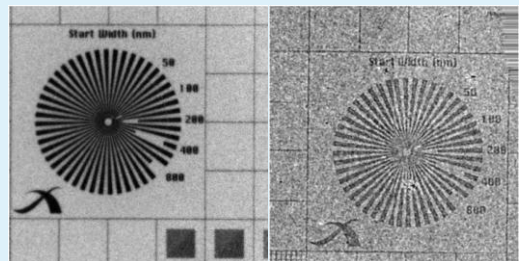
投影放大成像实现纳米CT

- 投影放大成像： Z_1 越小， Z_2 越大，放大倍数越大；
- 针孔成像： Z_1 越小， Z_2 越大，分辨率越低；光源S 越小， S' 越小，分辨率越高；光源S 越小，光通量越小。
- 选用直径约为70纳米的光源。



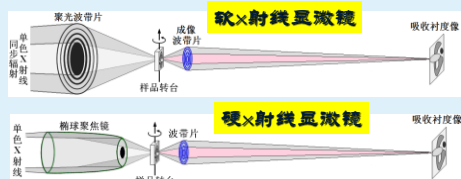
投影放大成像分辨率达到80纳米

- 左图是用Xradia的X射线显微镜5分钟曝光拍摄的图像；右图是投影放大成像2分钟拍摄的图像。



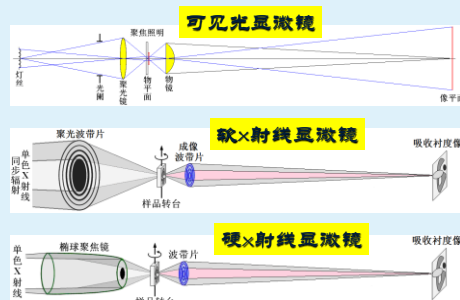
透镜放大成像实现X射线纳米CT

- 已经实现的X射线纳米CT是X射线显微镜和传统CT的结合。
- 基本原理之一：利用X射线透镜将纳米尺寸结构信息放大到微米尺寸，然后用微米尺寸像素的探测器采集投影数据。



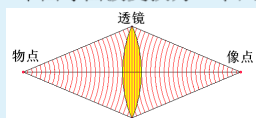
X射线显微镜的原理

- X射线显微镜是光学显微镜在X射线波段的推广。



X射线透镜—波带片

- 玻璃透镜将一个凸球面波转换为一个凹球面波。

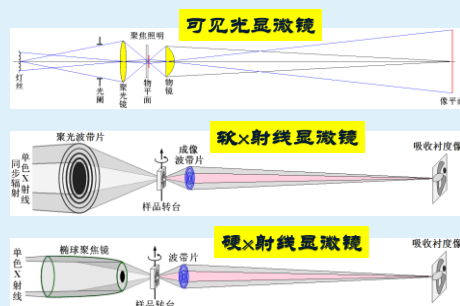


- 波带片将一个凸球面波转换为一个凹球面波。



纳米CT获得放大投影的条件

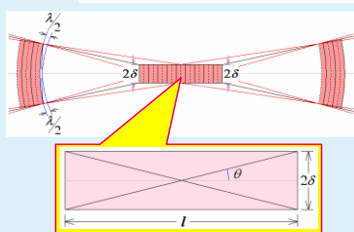
- 样品厚度小于透镜焦深



透镜焦深产生原理

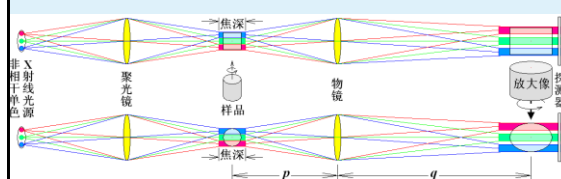
- 焦点是等光程点，而焦点周围半波光程差决定焦深半径 δ （爱里斑半径）和焦深长度 l 为：

$$\text{爱里斑半径: } \delta = \frac{0.61\lambda}{\theta} \quad \text{焦深长度: } l = \frac{2\delta}{\tan \theta} \approx \frac{2\delta}{\sin \theta} \approx \frac{2\delta}{\theta} = \frac{2\delta}{0.61\lambda/\delta} = 3.28 \frac{\delta^2}{\lambda}$$



纳米CT获取放大投影的原理

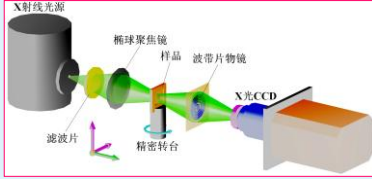
- 多个球面波在焦深处，形成多条焦深平行细光束；
- 当样品直径小于物面焦深，就可以在像面焦深获得样品放大投影像；
- 用CCD记录含有纳米尺寸信息的放大投影像。



- 物镜把物面焦深放大、搬运到像面。

X射线纳米CT成像过程

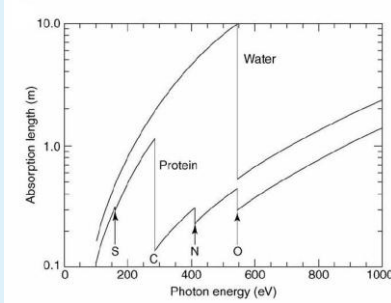
- 利用椭球镜会聚X射线光源发出的X光束，形成空心光锥照射在样品上；
- 波带片将样品放大成像在X射线CCD上，把纳米尺寸的信息放大为微米尺寸，CCD可以记录放大的样品像；
- 纳米精密转台逐步旋转，CCD逐幅采集放大像，就可进行几十纳米分辨的CT成像。



“水窗”软X射线纳米CT

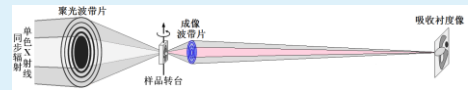
“水窗”软X射线的性质

- 含义是“水窗”软X射线在水中传播是透明的。

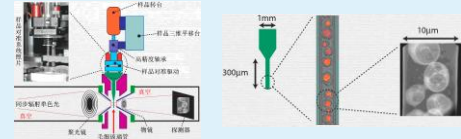


“水窗”软X射线纳米CT装置

- “水窗”软X射线显微镜光路图



- “水窗”软X射线纳米CT装置结构图



“水窗”软X射线显微镜成像原理

- 研究水中样品，如水中细胞等；
- 物面上样品的复振幅

$$\mathcal{A}_s(x_s, y_s) = A_s \exp \left[-\frac{M(x_s, y_s)}{2} + i\Phi(x_s, y_s) \right]$$

- 经过波带片成像，在像面获得样品像的复振幅

$$\mathcal{A}_i(x_i, y_i) = A_i \exp \left[-\frac{M(x_i, y_i)}{2} + i\Phi(x_i, y_i) \right]$$

- 物面上水的复振幅

$$\mathcal{A}_w(x_w, y_w) = A_w \exp \left[-\frac{M(x_w, y_w)}{2} + i\Phi(x_w, y_w) \right]$$

- 经过波带片成像，在像面获得水像对应的复振幅

$$\mathcal{A}_w(x_w, y_w) = A_w \exp \left[-\frac{M(x_w, y_w)}{2} + i\Phi(x_w, y_w) \right]$$

“水窗”软X射线显微镜成像原理

- 像面样品像的光强为

$$\begin{aligned} I_i(x_i, y_i) &= \mathcal{A}_i(x_i, y_i) \mathcal{A}_i^*(x_i, y_i) \\ &= A_i \exp \left[-\frac{M(x_i, y_i)}{2} + i\Phi(x_i, y_i) \right] A_i^* \exp \left[-\frac{M(x_i, y_i)}{2} - i\Phi(x_i, y_i) \right] \\ &= |A_i|^2 \exp[-M(x_i, y_i)] \approx |A_i|^2 [1 - M(x_i, y_i)] \end{aligned}$$

- 像面水像的光强为

$$\begin{aligned} I_w(x_w, y_w) &= \mathcal{A}_w(x_w, y_w) \mathcal{A}_w^*(x_w, y_w) \\ &= A_w \exp \left(-\frac{M_w}{2} + i\Phi_w \right) A_w^* \exp \left(-\frac{M_w}{2} - i\Phi_w \right) \\ &= |A_w|^2 \exp(-M_w) \approx |A_w|^2 (1 - M_w) \end{aligned}$$

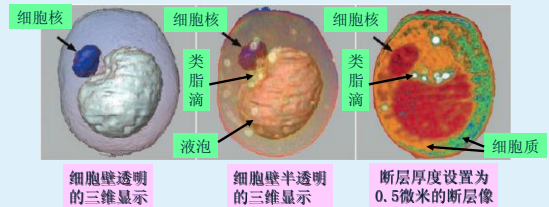
“水窗”软X射线显微镜成像原理

- 水中样品的吸收衬度

$$C_{\text{吸收}} = \frac{|A_i|^2 (1 - M_k) - |A_i|^2 [1 - M(x_i, y_i)]}{|A_i|^2 (1 - M_k) + |A_i|^2 [1 - M(x_i, y_i)]} \approx \frac{M(x_i, y_i) - M_k}{2}$$

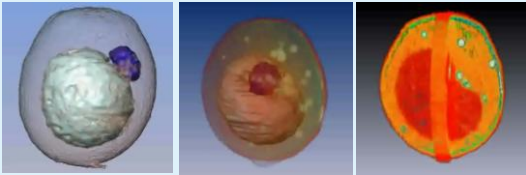
- 蛋白质的吸收比水高一个数量级，“水窗”软X射线显微镜成为对含水细胞成像的最佳工具。

2006年美国ALS光源“水窗”软X射线纳米CT酵母细胞三维成像结果

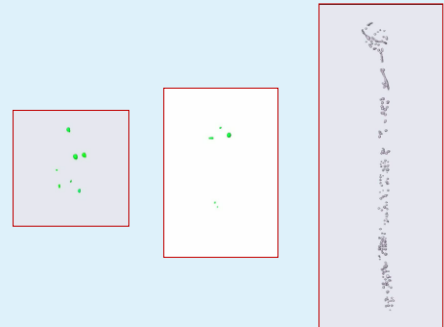


- 酵母细胞直径 5 微米，CT空间分辨率为60纳米。
- 发酵的酵母细胞不但是基因、分子和生物化学分析有价值的模型系统，而且还是蛋白新陈代谢研究的重要对象。

2006年美国ALS光源“水窗”软X射线纳米CT酵母细胞三维成像结果



2010年美国ALS光源“水窗”软X射线纳米CT白色念珠菌细胞三维成像结果



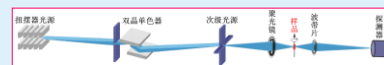
硬X射线纳米CT

中国现有三台同步辐射纳米CT

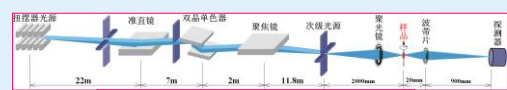
- 台湾、合肥和北京先后建成了同步辐射纳米分辨CT



台湾新竹第三代同步辐射装置纳米分辨CT



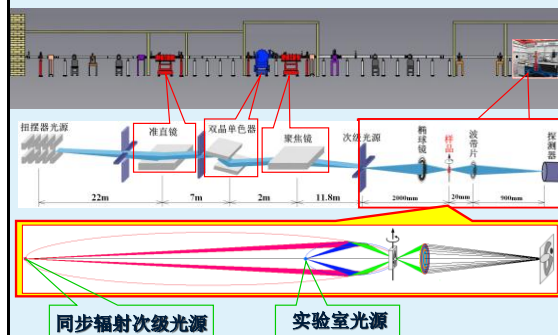
合肥第二代同步辐射装置纳米分辨CT



北京第一代同步辐射装置纳米分辨CT

北京同步辐射纳米成像光束线站

(1) 纳米成像光束线和实验站



(2) 双平晶单色器



习近平视察纳米成像光束线



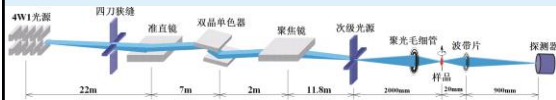
(3) 准直镜和聚焦镜



(4) 纳米CT设备

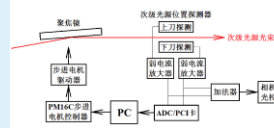
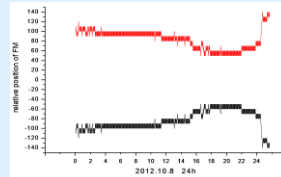


(5) 调试纳米成像光束线的关键

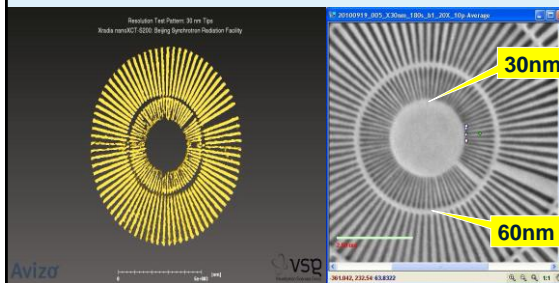


- 关键在于精密调整准直镜、双晶单色器和聚焦镜在垂直方向的相对位置，确保准直镜和聚焦镜在垂直方向保证波带片获得最大数值孔径，达到30纳米分辨的要求。

(6) 光束位置校正系统



北京同步辐射纳米成像分辨率优于30nm，达到国际领先水平，开创了第一代同步辐射装置实现纳米成像的先例

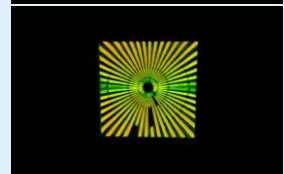


实验室光源三维分辨率测试

钼靶光源5.4keV
50纳米分辨率板

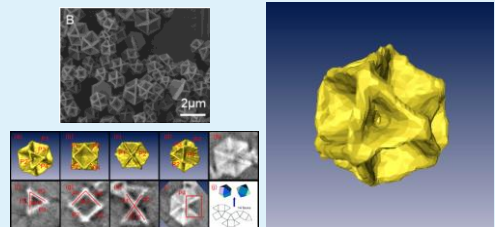


铜靶光源8keV
50纳米分辨率板



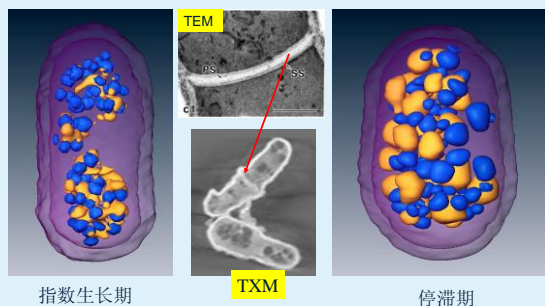
纳米成像应用成果

(1) 合肥同步辐射纳米CT研究成果



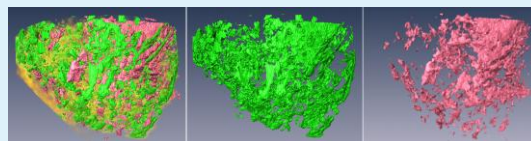
- 硫化铜 (Cu_2S) 十四面晶体三维成像，被Nature China作为来自中国大陆的研究亮点工作予以报道。
- APL, 92, 233104 (2008).

(2) 酵母细胞生长过程内部形貌变化研究



(3) 纳米成像在环境科学中的应用

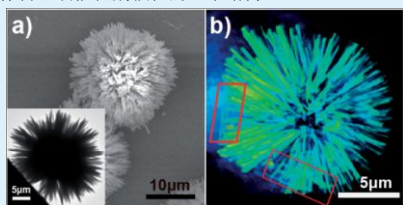
- 土壤中的碳是大气中的两倍。中国科学院大学崔骁勇课题组与本课题组合作，利用纳米CT获得了土壤微团聚体不同成分的三维结构分布。微团聚体外围是大空隙，微团聚体内部存在小空隙，部分矿质颗粒通过有机质粘合在一起，有机碳非均匀地包裹在矿质颗粒团聚体里。



左为土壤三维结构，中为有机质三维结构，右为矿物质三维结构

(4) 纳米成像在催化剂领域的应用

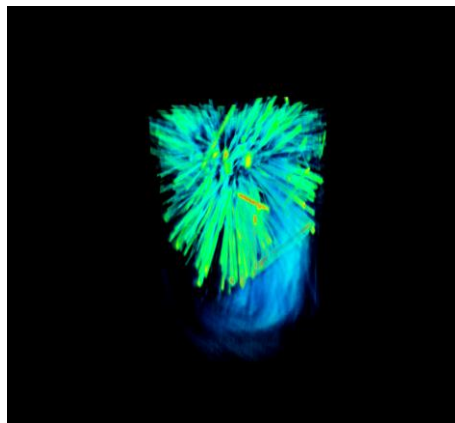
- 中科院化学所宋卫国课题组与本课题合作，研究硅酸锌纳米棒自组装催化剂颗粒的三维结构



纳米成像可以看到纳米棒的自组行为及内部结构，其中纳米棒的无序结构是电镜看不到的。

Qu et al., J. Mater. Chem., 2012, 22, 3562-356 IF: 5.968

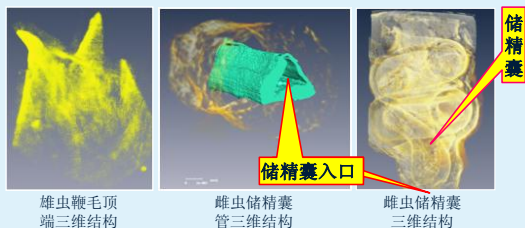
硅酸锌催化剂三维成像



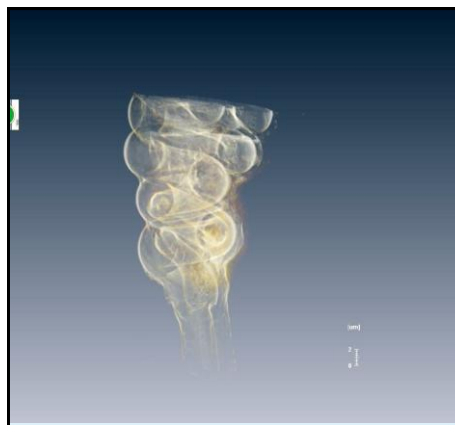
(5) 纳米成像在昆虫进化研究的应用

- 中科院动物所周红章课题组与本课题合作，对前角隐翅虫整个交配过程进行了观察，研究了精子传递过程。观察到了雌虫和雄虫交配后，在储精囊中存在的大量精子，为形成完整和系统的前角隐翅虫交配进化理论奠定了基础。

Zhang et al., Chinese Physics B. accepted. IF: 1.376



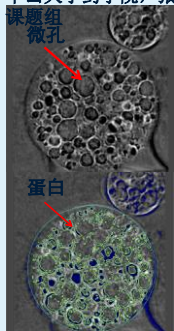
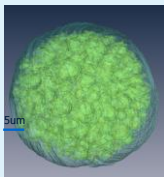
隐翅虫储精囊三维结构



(6) 纳米成像在生物学中的应用

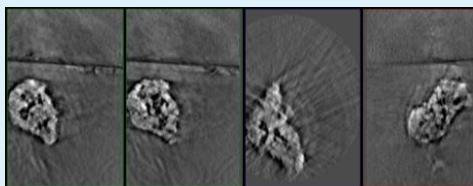
高分子材料PLGA微球(聚乳酸-羟基乙酸共聚物) 中山大学药学院, 张永明
三维重建

- 微球内部含孔隙, 并附着有牛血清蛋白, 纳米CT可准确探明蛋白在微球内部的分布及体积比等, 阐明微球携带蛋白的能力。经计算此样品内蛋白含量为20.79%。



(7) 纳米成像在宇宙学中的应用研究

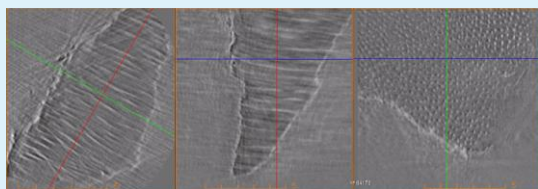
- 意大利INFN Augusto Marcelli 课题组与本课题合作, 试图确定星际尘埃内部的结构和成分, 搞清楚星际尘埃的来源和分布。



一、二图为X-Z断层像, 三图为X-Y断层像, 四图为Y-Z断层像

(8) 纳米成像在仿生学中的应用

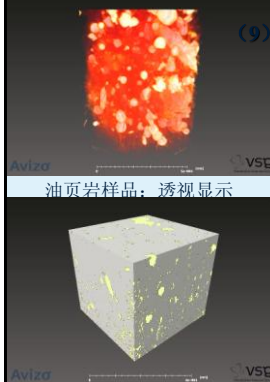
- 北京航空航天大学江雷课题组和本课题合作, 研究龙虾壳结构。曾有理论模型指出, 龙虾壳逐层旋转的致密层状结构可能是虾壳的高强度的原因, 纳米三维成像为这个理论模型提供了证据。



左为X-Z断层结构, 中为X-Y断层结构, 右为Y-Z断层结构

(9) 纳米成像在能源科学中的应用

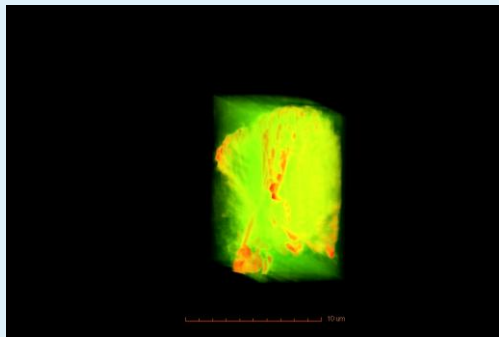
- 油页岩是未来的替代能源之一。
- 本课题组对美国的油页岩样品进行了纳米分辨三维成像。
- 油、气页岩中储油、储气孔结构在微米和纳米量级, 纳米三维成像可以估算出储油、储气孔体积在油页岩中的比例, 清楚显示出孔的形状。这对评估油、气储量, 提高开采效率, 具有重要意义。



油页岩样品: 成分分割显示

成分	体积 (nm ³)	体积比例
储油孔	1.58E+12	3.20%
页岩	4.32E+13	87.68%
矿物质颗粒	4.49E+12	9.12%

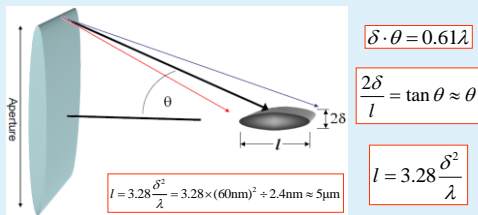
(10) 本课题组对物理所的磷酸铁锂电池电极样品进行了纳米分辨三维成像。



X射线纳米CT面临的问题

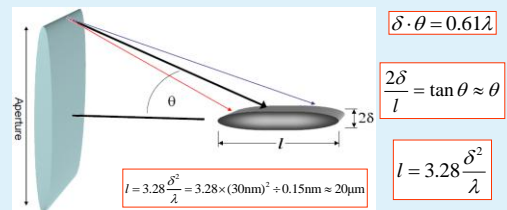
“水窗”软 X 射线显微镜

- 优势：“水窗”软 X 射线的吸收衬度高；
- 不足：“水窗”软 X 射线的波长长，焦深短，利用焦深对直径 5 微米以上的细胞进行三维成像时，出现困难，而哺乳动物的细胞，直径一般在 10 微米左右。



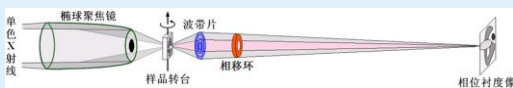
硬 X 射线显微镜

- 优势：硬 X 射线波长是“水窗”软 X 射线波长的十分之一到二十分之一，可以获得更大的焦深，具有对更大细胞进行分辨率更高的三维成像潜力。
- 不足：硬 X 射线泽尼克相位衬度定量化问题没有解决。



泽尼克相位衬度定量化的问题

- （一）对于吸收和相位共存的样品，获得的图像是吸收衬度和相位衬度共同作用的结果，如何分离吸收贡献和相位贡献？
- （二）对于大样品，如何解决相位周期性带来的两个相位对应一个衬度的问题？

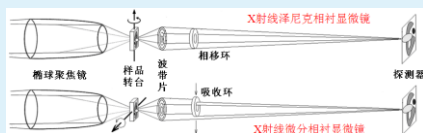


两个值得关注的研究方向

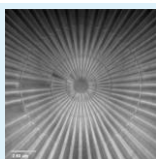
- 方向一：合肥光源正在开辟中能 X 射线纳米 CT 研究方向，试图同时实现大焦深和高衬度；
- 方向二：在硬 X 射线显微镜中引入微分相位衬度成像机制，解决相位衬度定量化和相位周期性问题。

X 射线微分相衬显微镜

- 北京同步辐射装置最近在相位衬度成像定量化研究中取得进展：



吸收像



折射像



请各位专家批评指正

Avizo 软件的基本使用

报告人：张凯

课题组：多学科同步辐射形貌站

报告提纲

1. Avizo 的发展简介

2. 用户界面介绍

3. 常用的命令模块

1 Avizo 的发展简介

Avizo 软件的介绍

- <http://www.vsg3d.com/avizo/overview>

2004年：TGS公司，Amira。

2009年重组为
Visualization Sciences Group of
Mercury Computer Systems。

2011年收购 VISOLOG 软件。

2012年7月获得Amira 所有资产。

2012年8月 FEI公司收购



Avizo 软件的介绍

- Avizo软件是VSG最新推出的专门针对地球地质科学、材料科学以及CAE工程计算等一款强大可视化软件



Avizo 软件的介绍

产品功能：

高级的三维可视化功能：

- 表面渲染 通过丰富的绘图模式和色彩配置使我们得到更具意义、更丰富的三维显示效果；
- 体渲染 执行基于物理学的光线发射/吸收原理的直接三维图像数据渲染；

科学可视化：

- 流场数据：通过高级的矢量场可视化显示三维模型内部的流动仿真结果
- 标量、矢量和张量可视化：通过等值面来显示标量信息，并进行限制染色和假染色。显示线性积分卷积，流线，表面和彩带。充分利用内置的张量可视化功能，比如张量场的图标化显示，特征值提取和应力等级张量评估。
- Matlab®桥梁 通过整合Matlab®的微积分学模块，能够进行微积分的数据处理。通过在Avizo的应用进程中连接Matlab服务器，直接进行Avizo数据的Matlab估算。从Avizo中输入/输出Matlab矩阵格式数据。输出Avizo表面到Matlab表面

Avizo 软件的介绍

3D数据勘测与分析:

- 观察与导航 在一个或多个窗口中显示一个或多个数据，并且能够灵活进行导航操作
- 切片/剪切 通过一个或多个正切、斜切面来快速显示数据内部切片情况，通过剪切来显示隐藏的数据
- 数据分析 交互式的查询模型任意位置的精确数据，显示或者将数据输出到电子表格或其他制图工具以便进一步分析。并可通过统计学模块进行密度、距离、面积、体积等数据的计算和量化。

数据获取

- 数据输入 直接进行数据导入到Avizo。Avizo支持大量标准格式文件的数据导入。
- 时序数据 处理单时间步和多时间步数据为表面流动数据
- 数据处理 与过滤 通过一系列的数学过滤器、编辑器、数据处理模块对3D图像进行简单有效的处理

图像数据处理

- 图像配准、溶解、对齐 排列配准多个数据集以进行多数据对比、图像溶解。融合多模型数据以增加信息量和模型精确度。
- 图像分割 基于个别像素分配输出不同的标记以鉴别区分不同的结构来生成3维模型，以及进一步的数据分析任务

Avizo 软件的介绍

三维重构

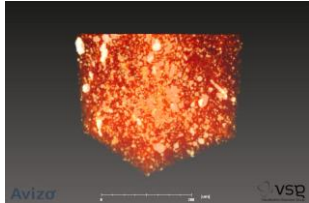
- 几何模型 从图像信息的处理、几何体的计算到重构生成高分辨率的三维显示图像，Avizo采用创新高效的运算法则，将CT、MRT设备，三维超声设备，共焦显微镜等生成的切片数据进行精确的三维体重构。
- 表面重构 使用创新的加速度科技，快速执行表面重构技术
- 表面简化 采用目前市场上最精确的运算法则之一，适当的减少模型表面多边形的数量以适应低端设备或网络发布的需要。

交流

- 发布 最优化的质量将结果发布在相应的数字媒体上，如ppt，web

Avizo Fire 软件的介绍

Avizo® Fire software is the advanced 3D visualization and analysis software application for exploring materials science data from tomography, microscopy, MRI, and more techniques. From straightforward visualization and measurement to advanced image processing, quantification and skeletonization, Avizo Fire provides a comprehensive, multimodality digital lab for advanced 2D and 3D visualization, materials characterization, 3D model generation for FEA, and calculation of physical properties.



油页岩3D成像演示

- 图像处理
- 图像分割
- 3D可视化显示
- 数据定量分析
- 展示、动画制作。

Avizo Fire 软件的介绍

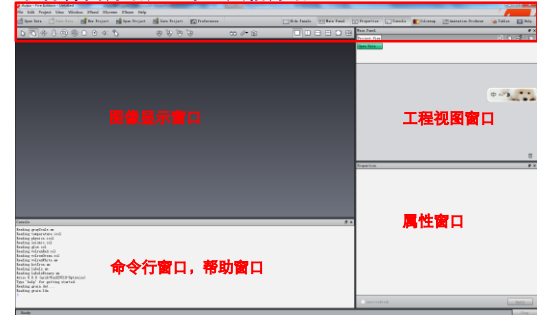
- 最低配置
 1. 32位操作系统 (windows, Mac OS X, Linux (支持64位))
 2. 2G内存
 3. 最低1024x768分辨率的显示器
 4. 主频 2G, CPU
- 理想的电脑配置
 1. 64 位常用操作系统
 2. 32G内存
 3. 万元级别的专业显卡
 4. 固态硬盘
 5. 多核CPU

2

用户界面介绍

Avizo Fire 软件的介绍

- 软件界面介绍，基本工具箱介绍 常用工具箱



Avizo Fire 软件的介绍

工程视图窗口



工程视图窗口，每个object代表一个操作、显示或数据

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

13

Avizo Fire 软件的介绍

工程视图窗口



属性窗口



属性窗口，每个模块的属性信息，参数设置

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

14

Avizo Fire 软件的介绍

视图窗口



视图窗口，图像显示，处理结果显示

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

15

Avizo Fire 软件的介绍

命令行窗口



命令行窗口，帮助信息，当前命令的处理结果，命令行操作输入

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

16

Avizo Fire 软件的介绍

常用快捷按钮



视图工具栏



菜单栏



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

17

Avizo Fire 软件的介绍

File



文件输出输入

Edit



数据操作

Project



视图显示，数据对象操作

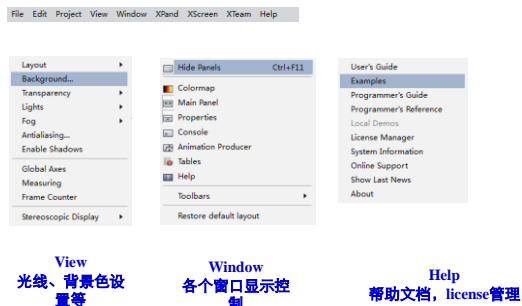
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

18

85

Avizo Fire 软件的介绍



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

19

常用的命令模块

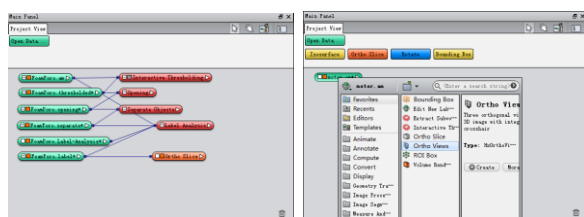
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

20

Avizo Fire 软件的介绍

● Avizo 命令参数介绍



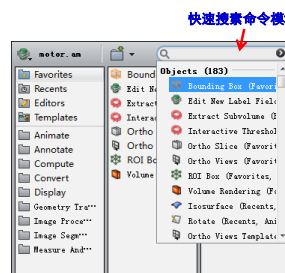
视图窗口，在每个模块上面右键单击，会显示所支持的命令，左键单击会显示提示信息。点击 **Creat** 按钮，可以创建该命令模块。

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

21

Avizo Fire 软件的介绍



快速搏擊命令

Favorite: 最近使用频率较高的命令模块
Recents: 刚刚使用过的命令模块
Editors: 输入数据的裁剪, 信息查看等操作
Templates: 自定义模板

- Animate:** 动画制作
- Annotate:** 标尺、标题添加模块
- Compute:** 数学运算 (+, -等), 逻辑运算 (与, 非), 图像操作 (对齐, 体数据裁剪)
- Convert:** 16bit→8bit图像等
- Display:** 所有的显示命令模块: 2D, 3D
- Geometry Transforms:** 坐标变换等
- Image Processing:** 图像处理, 滤波函数, 关闭运算等
- Image segmentation:** 图像分割模块
- Measure And Analyze:** 测量和数据定量分析

2013-11-18

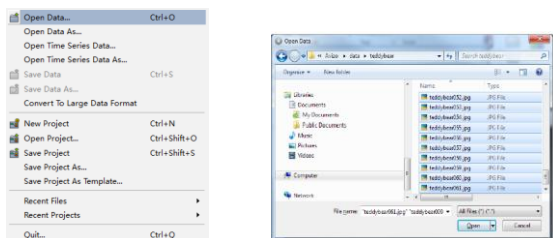
中国科学院高能物理研究所

22

Avizo Fire 软件的介绍

- 图像数据的读入：CT图像数据，二进制Raw数据，

- 工具栏: File 菜单→Open data as
- 工程视图窗口: Open data



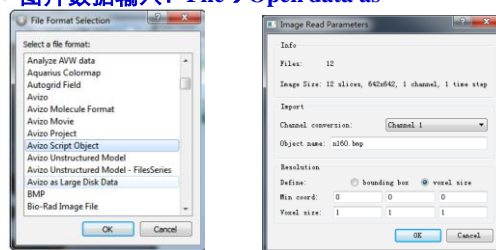
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

23

Avizo Fire 软件的介绍

- 图片数据输入：File→Open data as



1.选择数据类型, 2 设置 channel conversion, 3 设置 voxel size

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

24

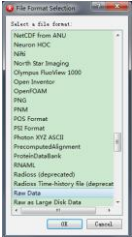
Avizo Fire 软件的介绍

- 自定义二进制数据输入：File→Open data as

文件头

图像数据

文件头：记录图像数据的相关信息：压缩格式，颜色表，数据大小。



Raw 数据格式，是用户自定义的数据。
要求知道文件头的大小，数据类型，数据大小。

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

25

Avizo Fire 软件的介绍

- 自定义二进制数据输入：File→Open data



Raw 数据格式，是用户自定义的数据。
要求知道文件头的大小，数据类型，数据大小。

- 选择 data type
- 设置 Dimensions
- 设置 Header
- 确认 requested和File size是否相等
- 设置 voxel size

2013-11-18

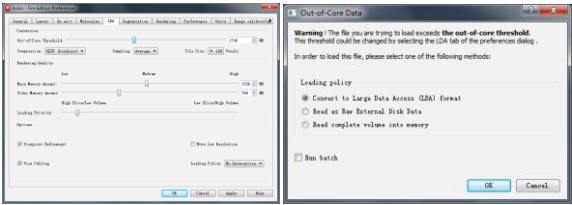
中国科学院高能物理研究所

26

Avizo Fire 软件的介绍

- 大量数据的读入Large Disk Data

File 菜单→ Convert To Large Data Format



store the image data in a special format that facilitates the random retrieval of data from disk.

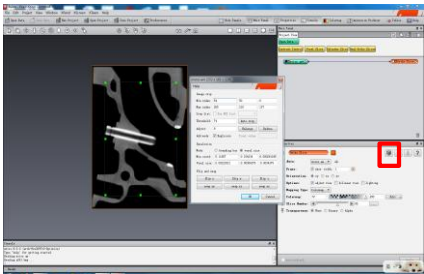
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

27

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：数据的裁剪



- 导入数据
- 生成*.am数据模块
- 左键单击*.am数据模块。
- 在属性窗口，点击红框所示按钮，弹出Help菜单。
- 更改Min index 和 Max index 值，选择所需要的图像区域。
- 点击OK

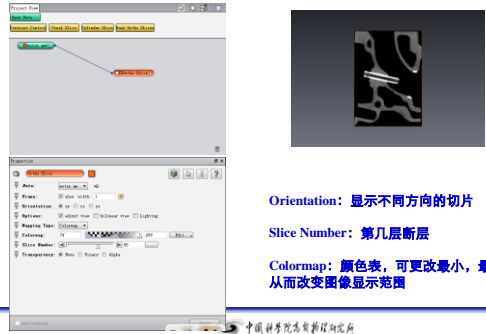
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

28

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Display菜单→ortho slice 断层图像显示



Orientation: 显示不同方向的切片

Slice Number: 第几层断层

Colormap: 颜色表，可更改最小，最大值，从而改变图像显示范围

中国科学院高能物理研究所

29

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Favorites文件夹→Bounding Box



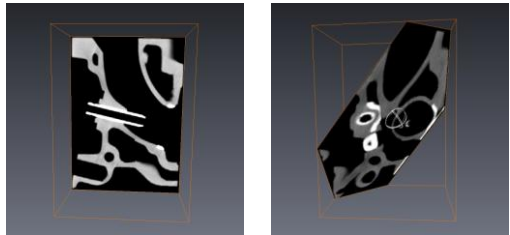
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

30

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Favorites文件夹→slice的使用



ortho slice

slice

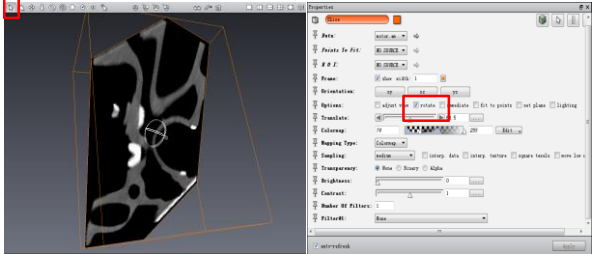
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

31

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Favorites文件夹→slice的使用



1.选择rotate, 2选取 箭头工具4, 在视图窗口转动图像

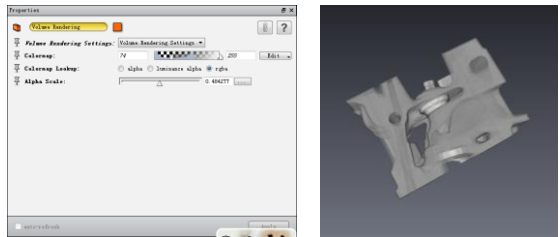
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

32

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Display菜单→Volume Rendering 3D透视图像显示



Alpha Scale: 透明度的设置
Colormap: 颜色表更改, 显示范围更改

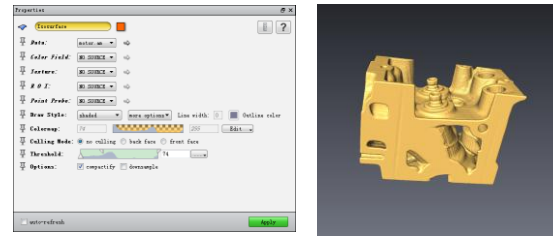
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

33

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Display菜单→Isosurface 3D等值图像显示



Threshold: 更改阈值→Apply

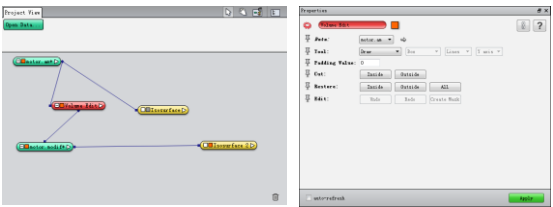
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

34

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Compute菜单→Volume Operation→Volume edit



1.添加Volume edit 命令行2. 属性窗口 选择Cut选项3鼠标选择去除区域, 4. 点击Apply

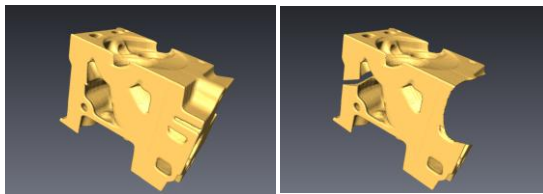
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

35

Avizo Fire 软件的介绍

- 3D图像裁剪



Volume edit

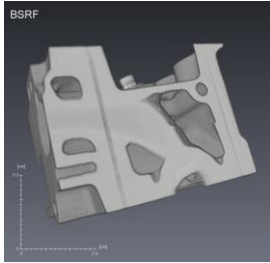
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

36

Avizo Fire 软件的介绍

- 标尺，标题的添加



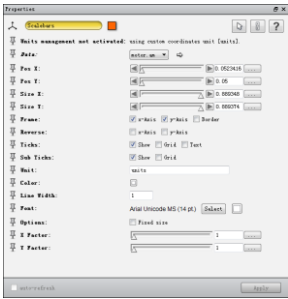
- 1.Scalebars的使用
- 2.Caption 的使用

2013-11-18

37

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Annotate菜单→Scalebars



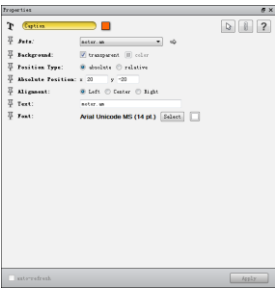
- Pos X, Pos Y, Pos Z 标尺位置
- Frame: X, Y方向是否选用
- Unit: 标尺的单位: um, cm等
- Color: 标尺颜色
- Line width: 标尺粗细

2013-11-18

38

Avizo Fire 软件的介绍

- 常用命令模块：Annotate菜单→Caption



- Text: 输入文字信息
- Font: 字体颜色
- Absolute position: 标题位置

2013-11-18

39

谢谢!

Thanks for Your Time!

昆虫形态学成像应用及数据处理

报告人：李德娥
单位：中国科学院动物研究所
报告时间：2013.11.22

报告内容

1. 三维成像技术与昆虫形态研究
 - 1.1. 化石研究
 - 1.2. 动态生理过程研究
 - 1.3. 形态解剖结构研究
 - 1.3.1. 两栖甲三维形态结构研究
 - 1.3.2. 隐翅虫科基本形态及系统发育研究
 - 1.3.3. 隐翅虫亚科上颚运动力学研究
 - 1.3.4. 领前角隐翅虫生殖进化研究
 - 1.3.5. 春前角隐翅虫生殖进化研究
2. 三维成像软件Amira的应用

1. 三维成像技术与昆虫形态研究
 - 1.1. 化石研究
 - 1.2. 动态生理过程研究
 - 1.3. 结构解剖结构研究
 - 1.3.1. 两栖甲三维形态结构研究
 - 1.3.2. 隐翅虫科基本形态及系统发育研究
 - 1.3.3. 隐翅虫亚科上颚运动力学研究
 - 1.3.4. 领前角隐翅虫生殖进化研究
 - 1.3.5. 春前角隐翅虫生殖进化研究
2. 三维成像软件Amira的应用

1. 三维成像技术与昆虫形态研究

1.1. 化石研究

化石是指保存在岩层中地质历史时期的古生物遗体和生活迹。利用CT技术能够无损获得化石样品三维信息，不仅实现了昆虫化石内部结构的三维观察，珍贵的化石样品也得到了完整保存。

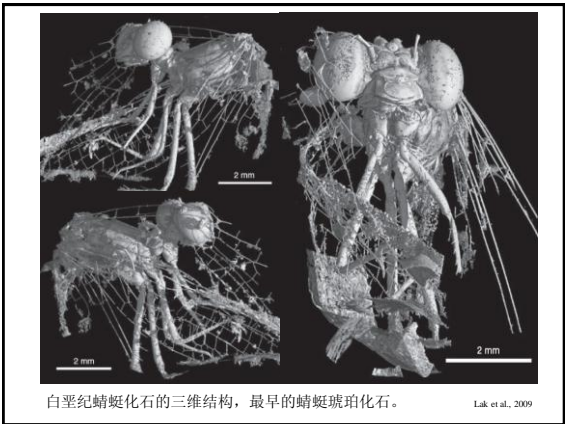


Figure 1 consists of three panels. Panel (a) shows a 3D reconstruction of a fossil insect, highlighting its internal structure in a translucent orange color. Panel (b) is a 2D CT scan image of a fossil insect, showing its external structure with labels PN, L3, FW, and HW. Panel (c) is a 2D CT scan image of a fossil insect, showing its internal structure with labels HE and L3.

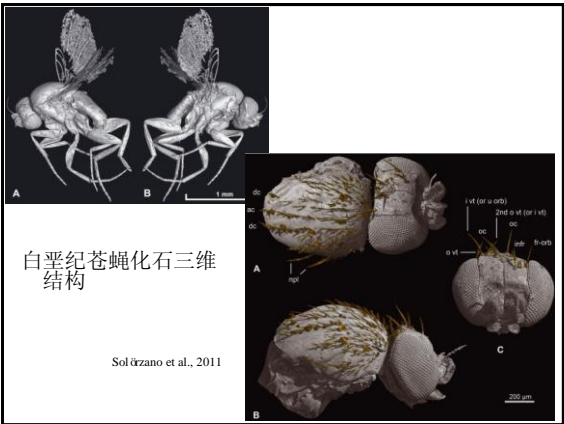
昆虫化石可以分为石质和琥珀化石。地质历史时期松属植物树脂滴落包裹昆虫，经过一定的化学变化后形成的昆虫琥珀化石能够完整保存昆虫的内外部形态结构，无损观察其内部结构对昆虫的起源与进化具有非常重要的意义。

昆虫化石的埋藏和保存，是研究昆虫历史的重要部分。昆虫化石的埋藏和保存，是研究昆虫历史的重要部分。

Pohl et al., 2010



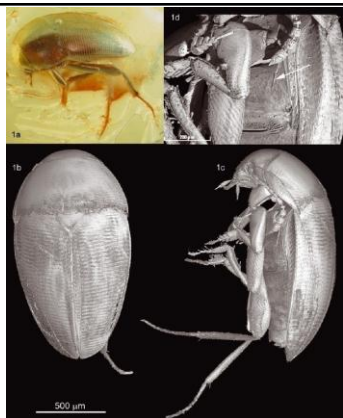
Lak et al., 2009



Solórzano et al., 2011

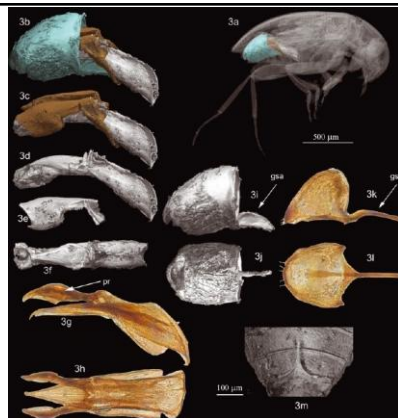
甲虫化石三维结构

Perreau and Tafforeau, 2011



甲虫化石与现生昆虫三维结构对比

Perreau and Tafforeau, 2011



1.2. 动态生理过程研究

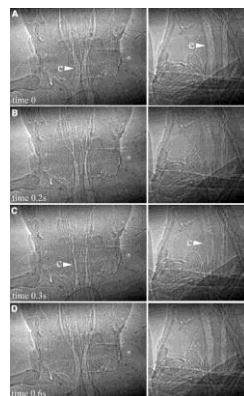
同步辐射X射线成像技术具有曝光时间短，穿透力强等特性，能够对活体样品进行实时观测，把我们对昆虫的理解从标本推进到活体过程。

基于同步辐射光源的X射线相位衬度成像技术最早在昆虫活体研究中的应用是昆虫气管的呼吸运动研究。昆虫利用气管系统进行气体交换，传统认为昆虫通过扩散，内外气压差等进行气体交换，这一研究发现有的昆虫类群的气管就像动物的肺一样能够自主膨大与收缩。颠覆了传统观念。

伴随这一研究的出现，涌现出大量基于同步辐射相位传播成像技术的昆虫气管系统研究，并推动了昆虫呼吸过程的研究。

Westneat et al., 2003

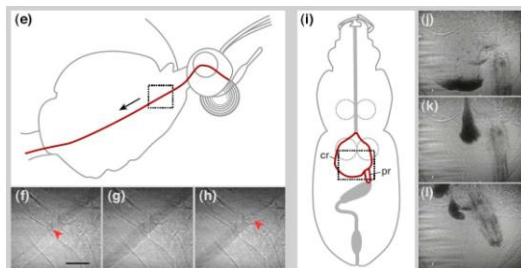
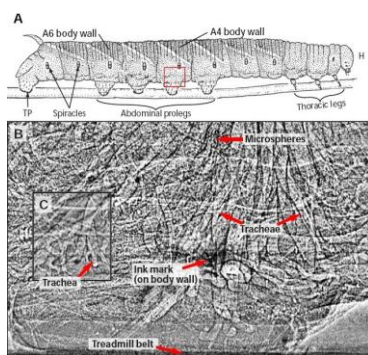
• [westneat.mov](#)



观察昆虫爬行过程中体内组织与器官等的运动，发现运动过程中消化道等内脏的运动先于体壁等其他结构。

Simon et al., 2012

• [simon.mov](#)



[socha-butterfly.mov](#)

[socha-beetle.mov](#)

- 用加碘糖水及钨粉溶液浸泡的小昆虫分别喂养蝴蝶及步甲并观察其取食过程。

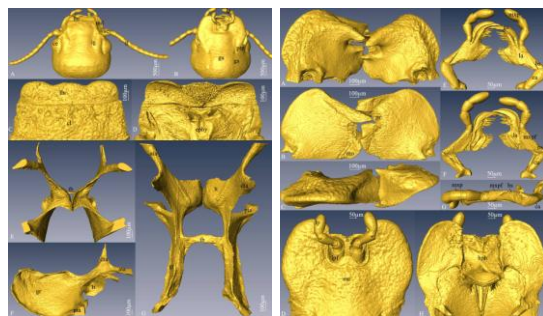
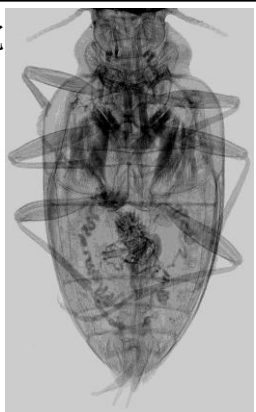
Socha et al., 2007

1.3.形态解剖结构研究

1.3.1. 两栖甲三维形态结构研究

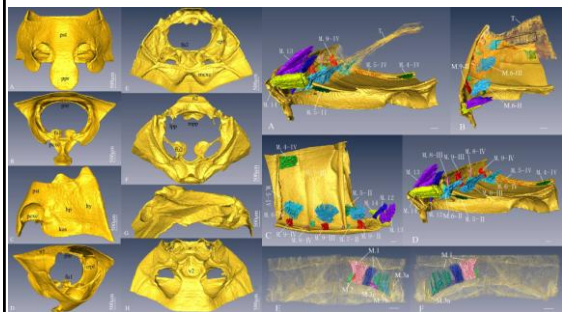
两栖甲是孑遗物种，水陆两栖昆虫，全世界只有五种，分布在中国和北美洲。对昆虫的进化及动物地理区系的研究均具有重要的意义。传统方法对内部结构的观察不能保存此物种标本的完整性。

本研究组以大卫两栖甲为代表，利用微米CT技术，研究其骨骼、肌肉、消化、神经、分泌及雌雄生殖系统的三维形态，并进行了三维结构重构。



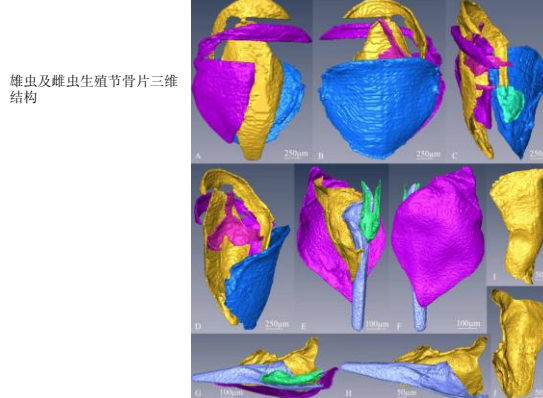
头部骨骼三维结构图

上颌及下颚三维结构图

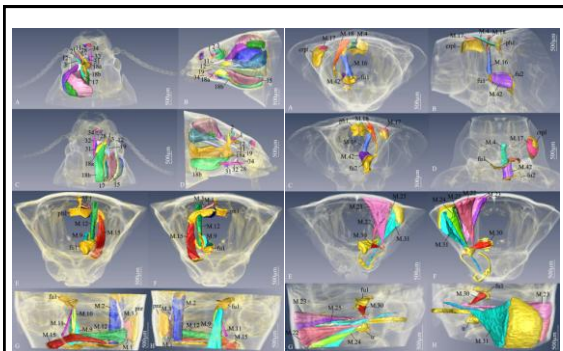


前胸及中胸骨骼三维结构

腹部骨片三维结构

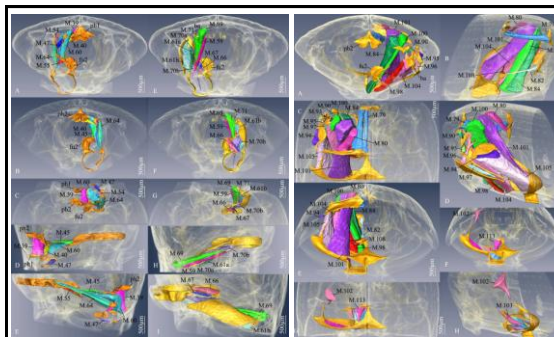


雄虫及雌虫生殖节骨片三维结构



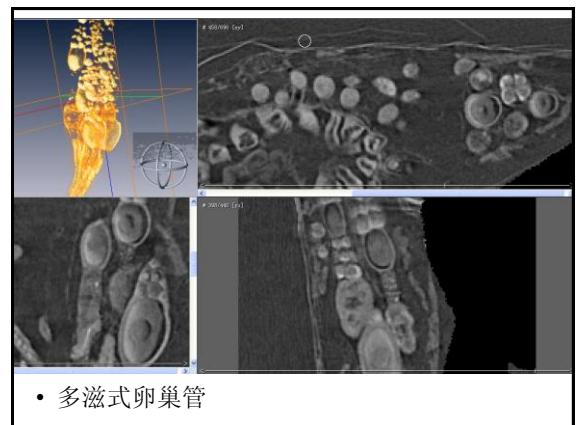
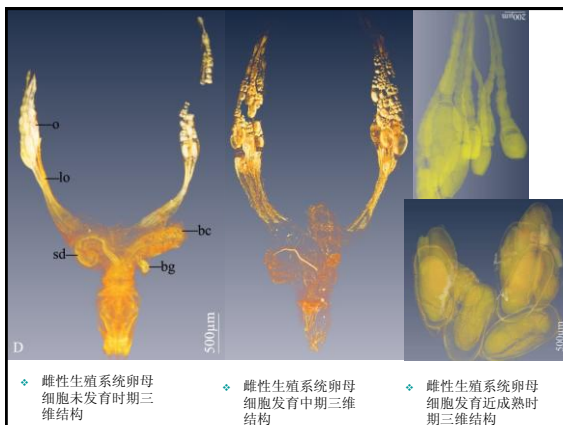
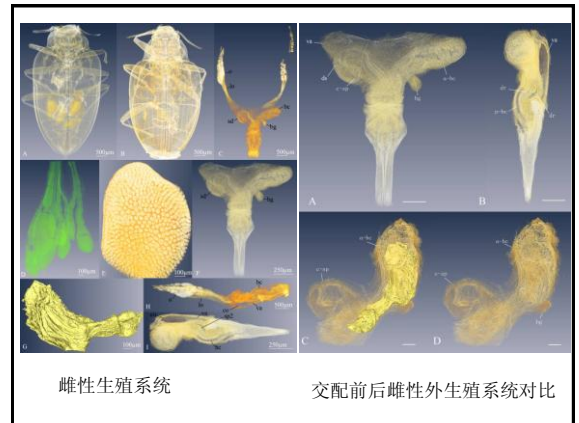
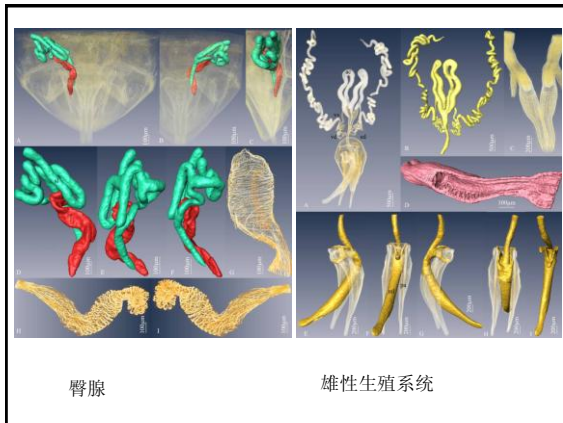
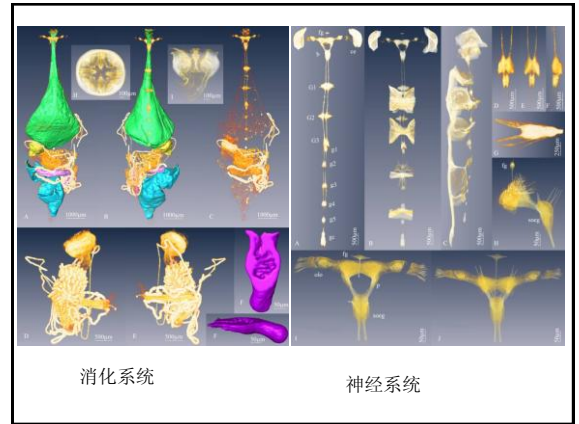
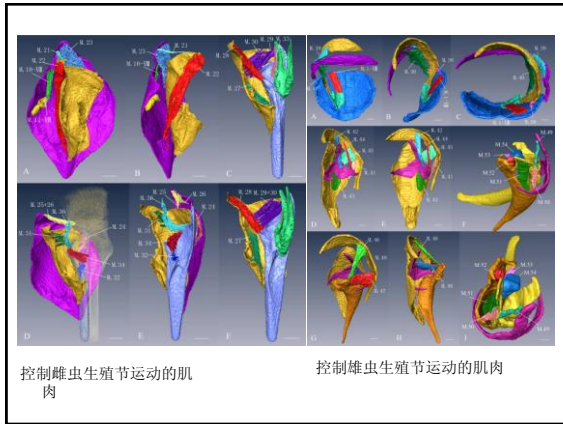
控制口器及头运动的肌肉

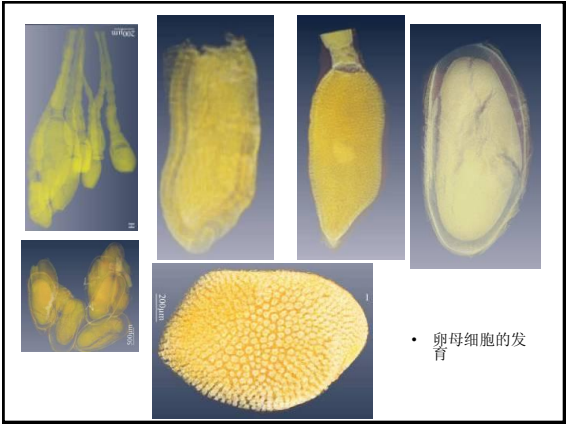
控制前胸背板及前足运动的肌肉



控制中足及鞘翅运动的肌肉

控制后翅及后足运动的肌肉

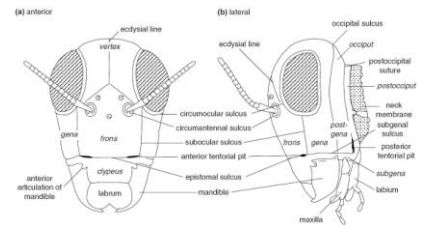




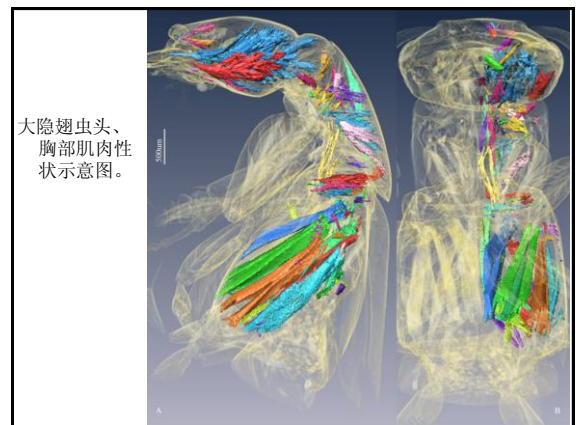
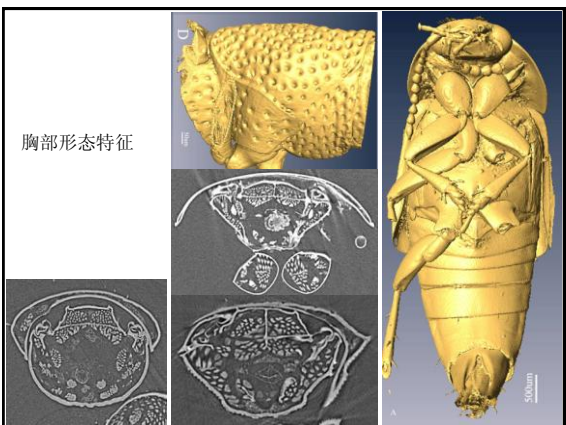
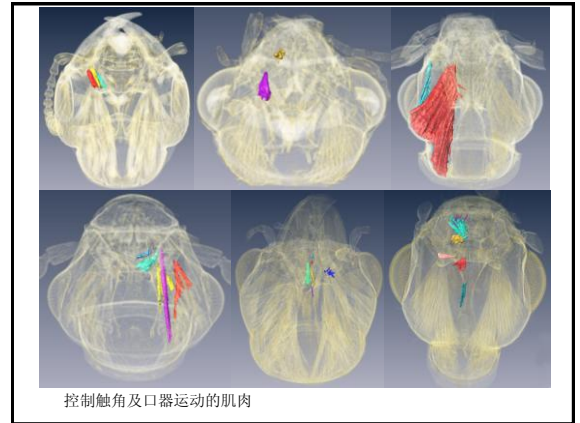
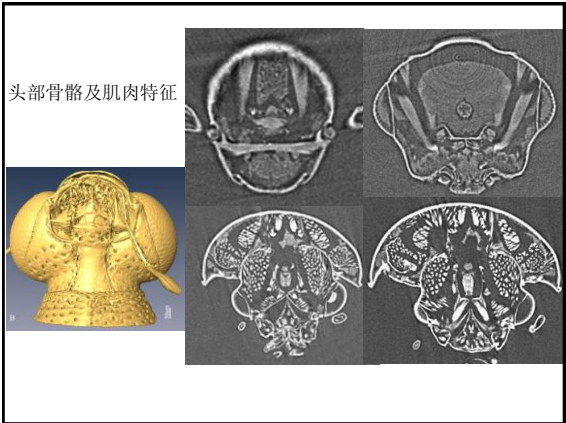
1.3.2. 隐翅虫科基本形态及系统发育研究

昆虫的外骨骼在发育过程中具有不同程度的愈合或退化，通过内骨骼、肌肉的着生等研究才能正确划分不同的结构，仅对外部形态结构的观察具有一定的不可靠性。

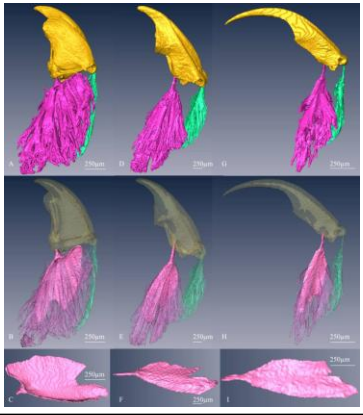
因此利用三维成像技术获得的内骨骼及肌肉等特征对于昆虫的起源与进化以及基于形态特征的系统发育研究具有重要的意义。



Chapman, 2012



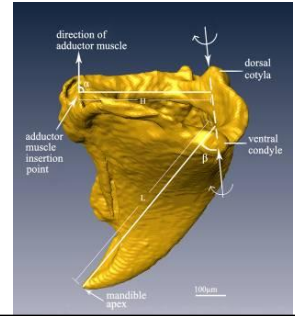
上颚收肌肌腱在大颊隐翅 (*Noddia* sp.)、大隐翅虫 (*Creophilus maxillosus*) 及歧隐翅虫 (*Hesperosoma* sp.) 的可着生面积依次减少。



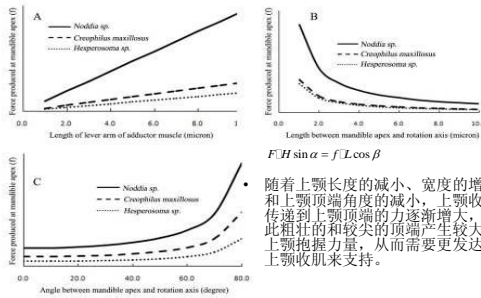
上颚运动力学初步研究

假设上颚顶端刺破食物的过程中力总是沿着切线的方向。根据杠杆原理，上颚收肌输出的力与力臂的乘积等于上颚顶端刺破食物的瞬间产生的力与力臂的乘积。公式如下：

- $F \cdot H \sin \alpha = f \cdot L \cos \beta$
- 其中F：上颚收肌输出的力
- H：上颚收肌的力臂
- α ：上颚收肌和其力臂之间的角度
- f：上颚顶端产生的力
- L：上颚顶端到上颚中心轴的距离
- β ：上颚顶端和上颚中心轴形成的角度



运动力学初步研究



1.3.4. 领前角隐翅虫生殖进化研究

Science

SCIENCE VOL 281 24 JULY 1998

"Inordinate Fondness"
Explained: Why Are There So Many Beetles?

Brian D. Farrell

The phylogeny of the Phytophaga, the largest and oldest radiation of herbivorous beetles, was reconstructed from 115 complete DNA sequences for the 18S nuclear ribosomal subunit and from 212 morphological characters. The results of these analyses were used to interpret the role of angiosperms in beetle diversification. Irregular fossils represent basal lineages that are still associated with conifers and cycads. Repeated origins of angiosperm-feeding beetle lineages are associated with enhanced rates of beetle diversification, indicating a series of adaptive radiations. Collectively, these radiations represent nearly half of the species in the order Coleoptera and a similar proportion of herbivorous insect species.

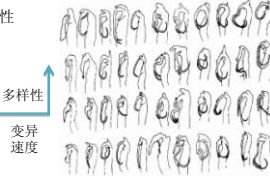
甲虫是昆虫界最大的类群之一，甲虫类群的多样性及进化一直是生物学家关注的热点问题。

昆虫的外生殖器结构通常具有种的特异性，定义物种多样性的重要特征。

昆虫外生殖器结构通常具有较高的多样性及变异速度。



与生殖无关的结构 (如复眼等结构)

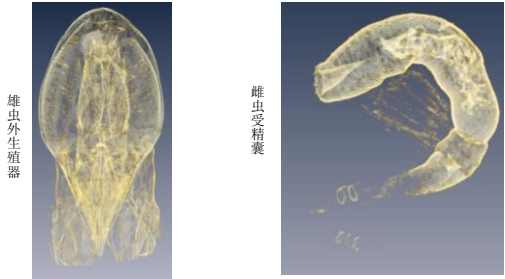


外生殖器结构及与生殖相关结构 (如交配过程中具有把握功能的附肢等结构)

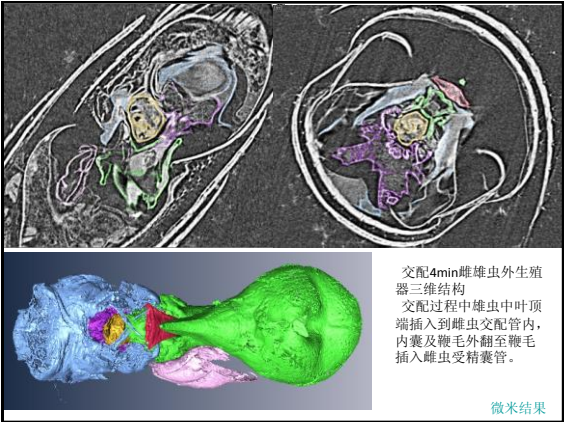
昆虫外生殖器结构的形态与功能 (交配及精子传递) 研究对昆虫的起源于进化具有非常重要的意义。昆虫的交配及精子传递等过程只有在标本完整的情况下才能得到准确观察研究。通过液氮固定，显微CT成像等一系列操作，极大促进了我们对昆虫生殖过程的理解



领前角隐翅虫交配机制研究

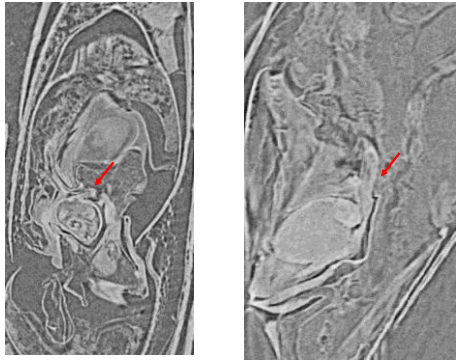


微米结果



交配4min雌雄虫外生殖器三维结构
交配过程中雄虫中叶顶端插入到雌虫交配管内，内囊及鞭毛外翻至鞭毛插入雌虫受精囊管。

微米结果



受精囊形态的变异导致交配后精子传递失败。

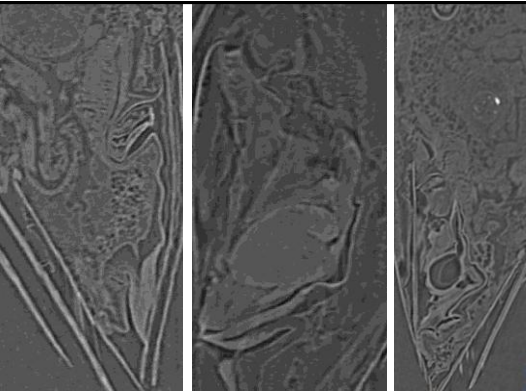
微米结果

鞭毛纳米级形态结构
环形结构--引导精
胞延伸管至受
精囊管的作用
刺状结构--移走
其他雄虫受精
囊管

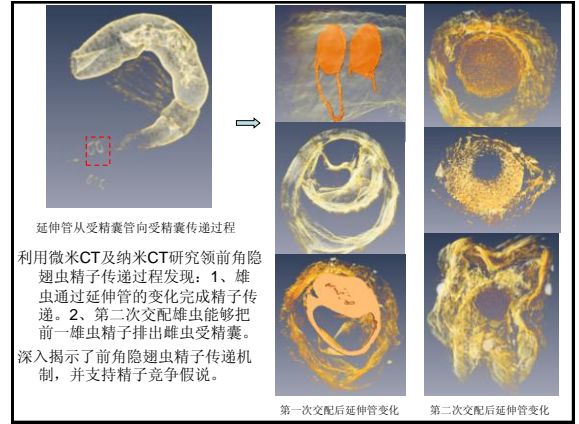
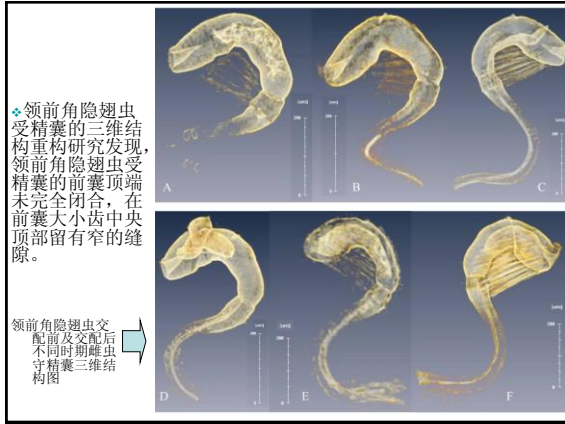


纳米结果

领前角隐翅虫精子传递机制研究



• 领前角隐翅虫雌性外生殖器纵切图

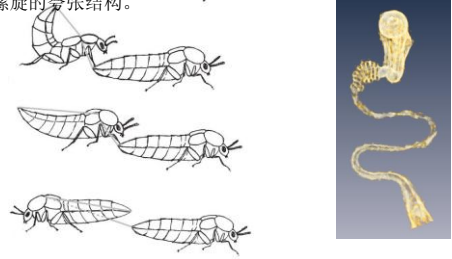


1.3.5. 春前角隐翅虫生殖进化研究

很多动物外观具有夸张结构，如孔雀的羽毛，麋鹿的角等，这些结构通常与交配前行为有关。

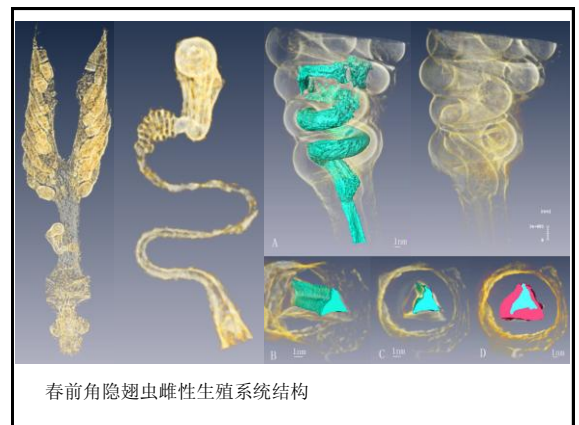
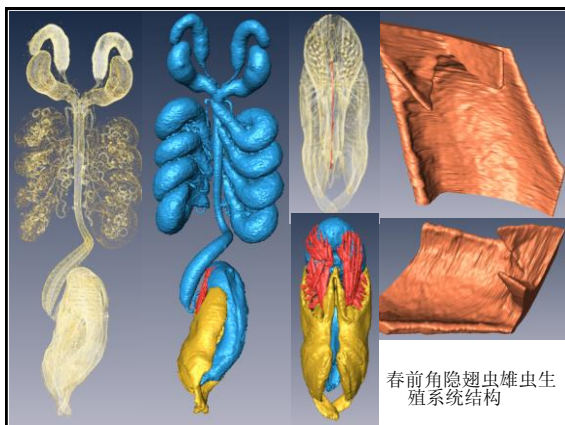


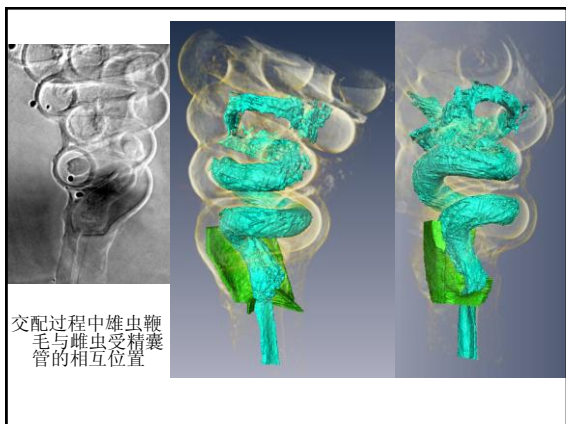
昆虫的生殖结构变异从简单到复杂，也具有类似夸张的结构。前角隐翅虫雌虫生殖结构的受精囊管通常形成较长或螺旋的夸张结构。



受精囊管的长度通常与雄虫插入器官鞭毛具有一定的相关性，螺旋夸张结构的变异机理尚不明确。

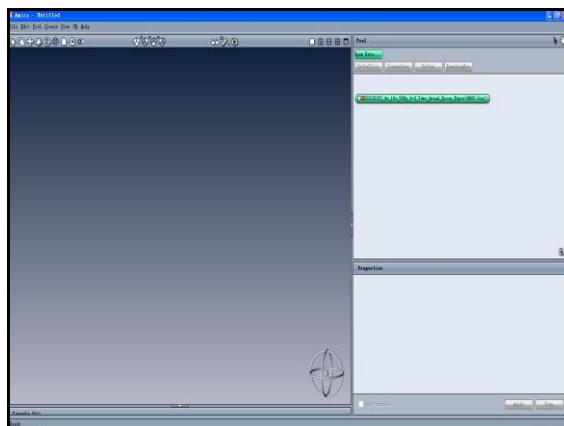
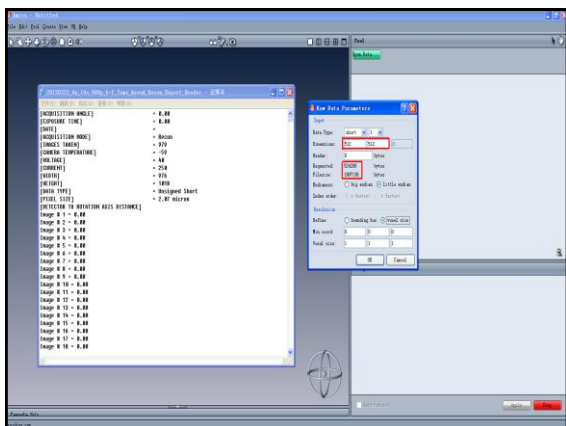
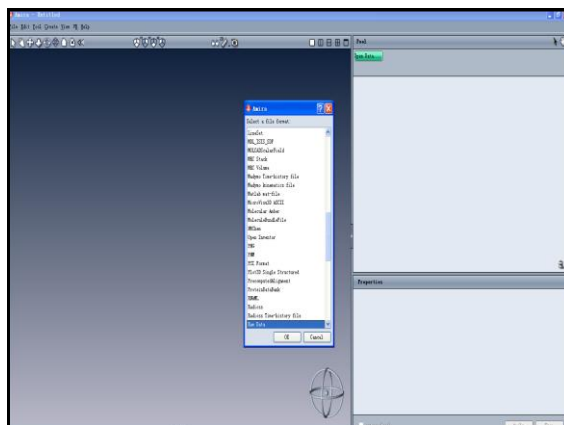
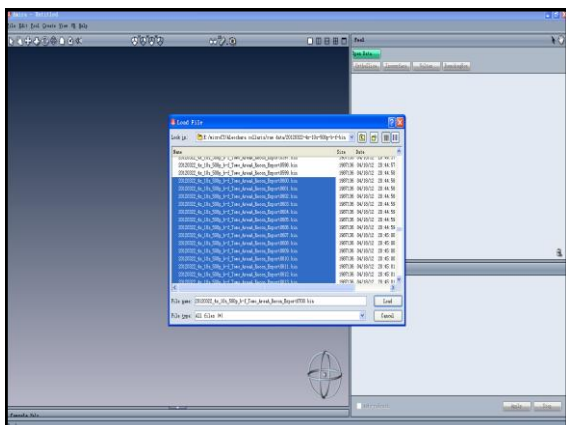
本研究选择春前角隐翅虫为代表 (*Aleochara verna*)，重构了雌雄生殖系统的微米及纳米结构，研究前角隐翅虫螺旋夸张结构的功能与进化。

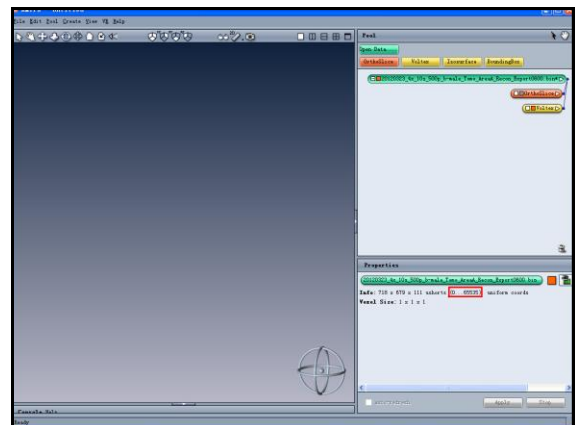
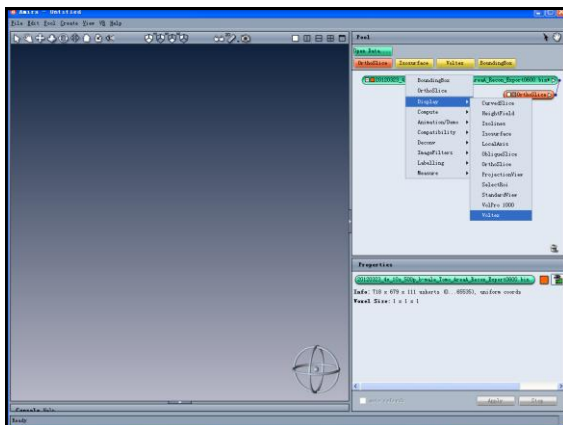
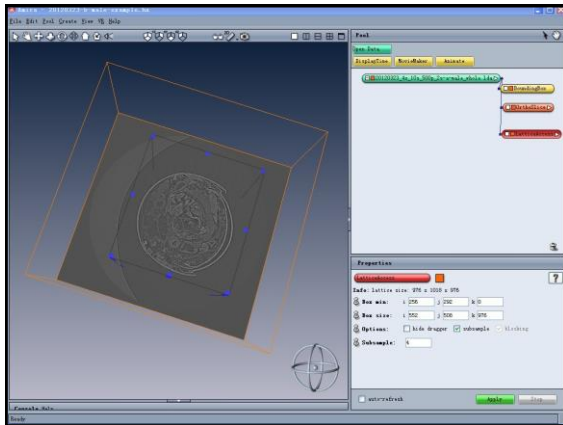
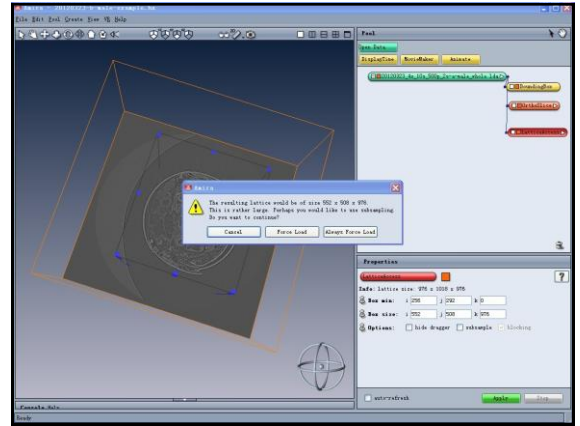
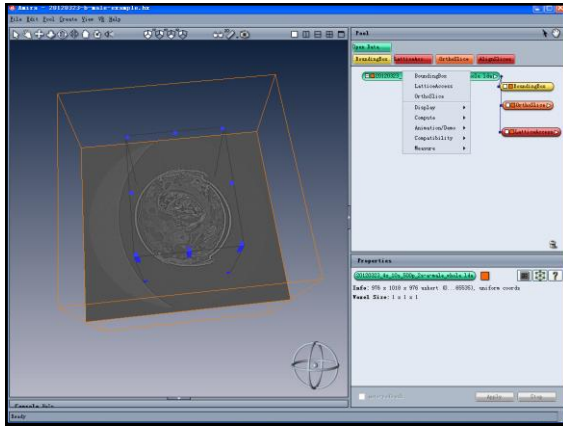


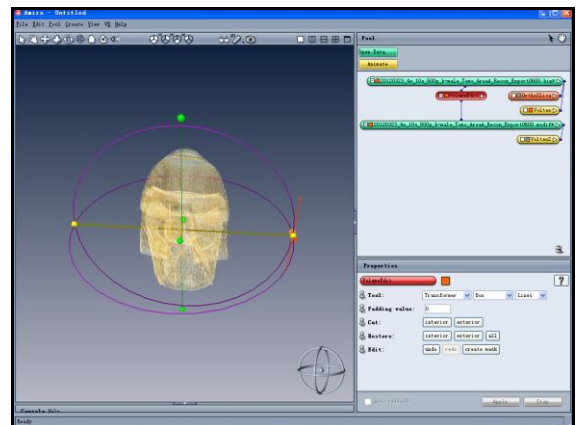
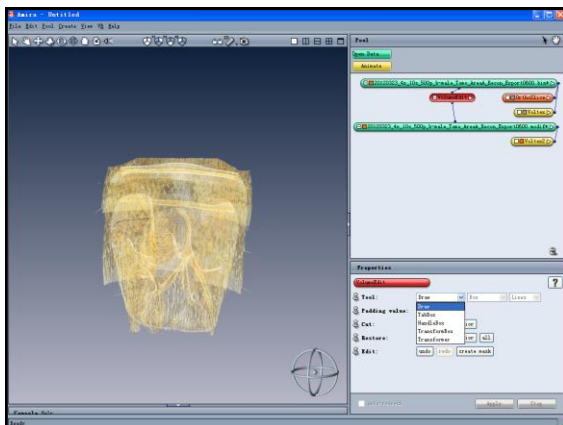
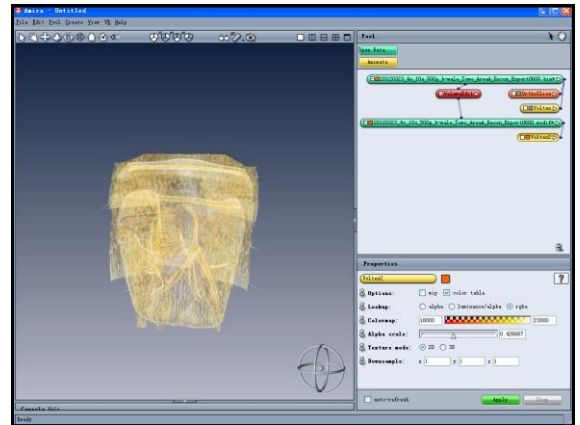
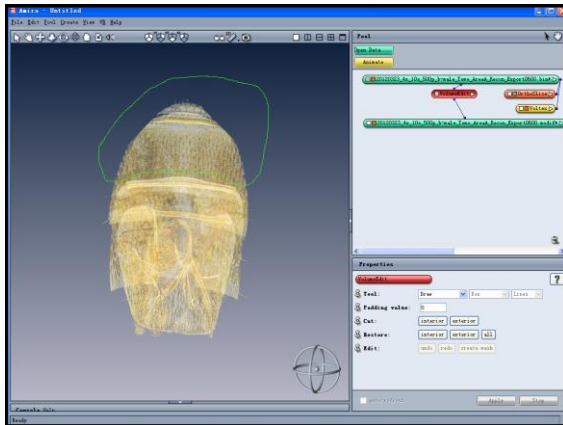
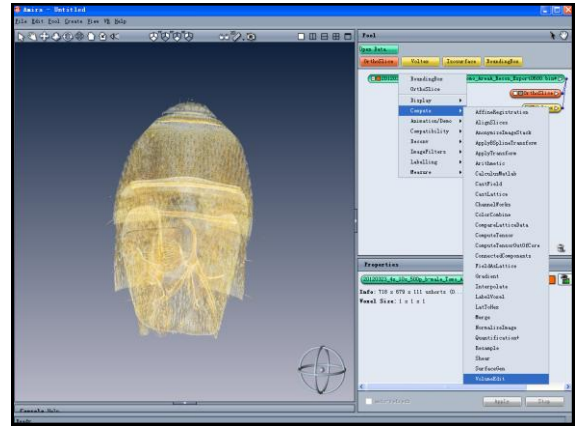
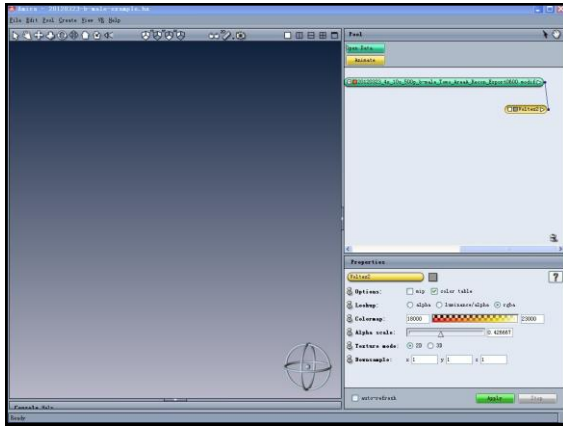


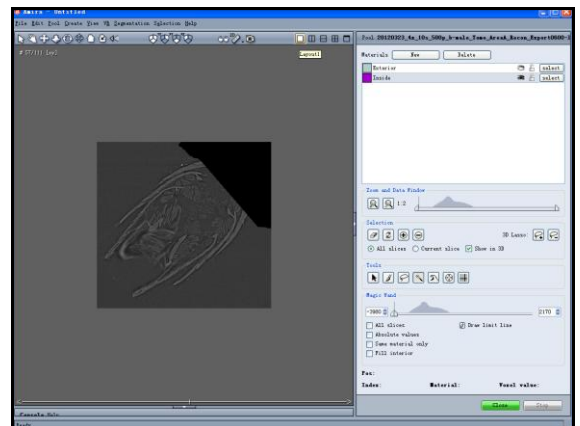
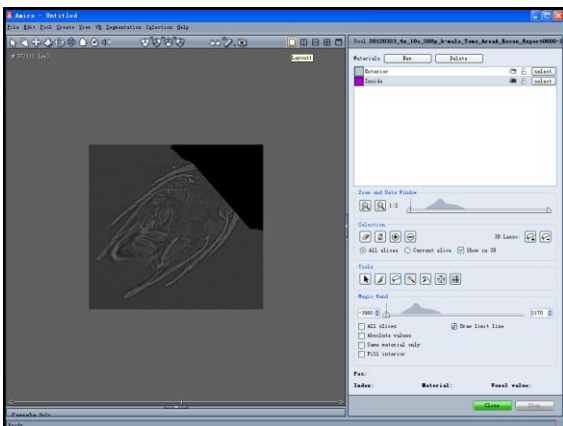
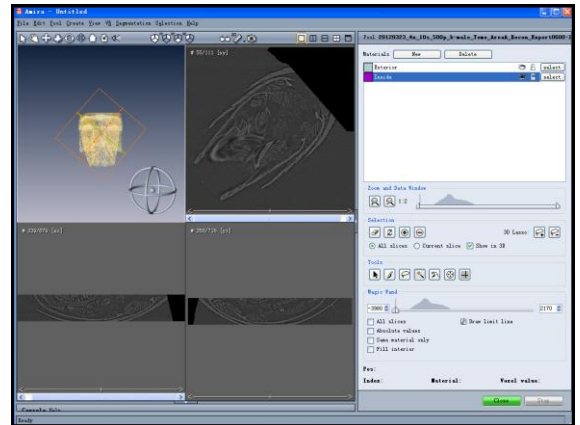
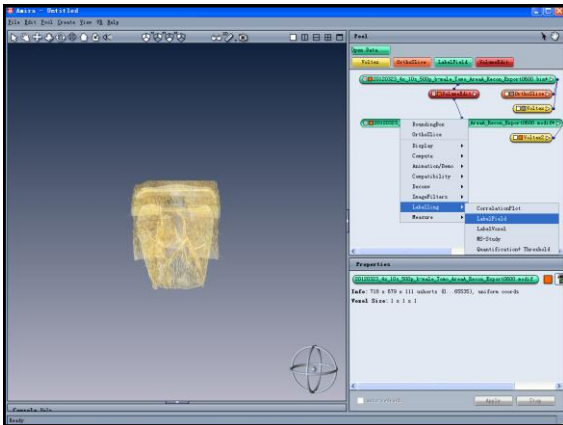
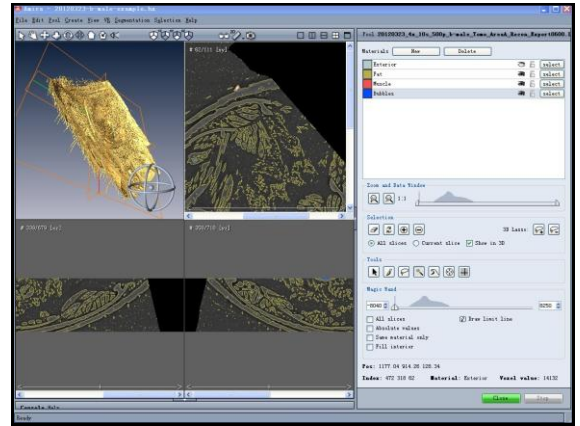
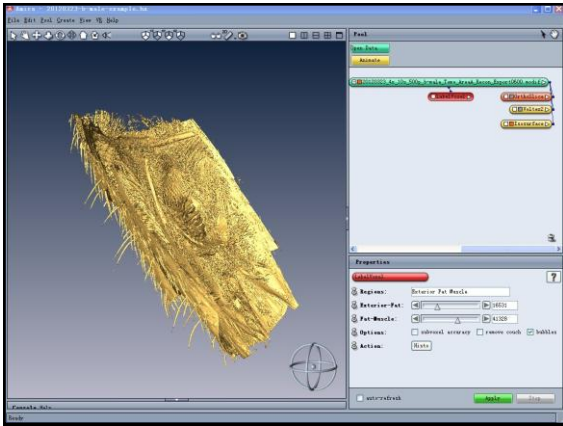
2. 三维成像软件Amira的应用

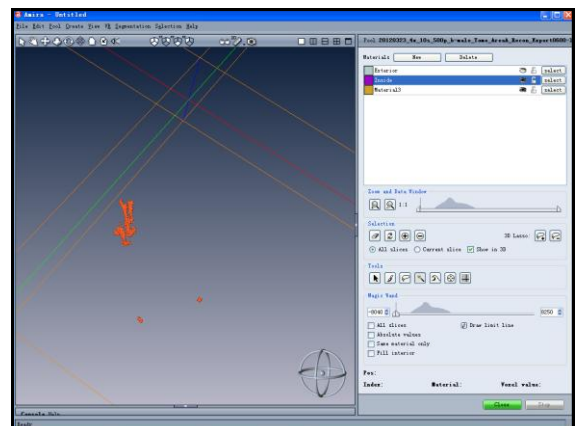
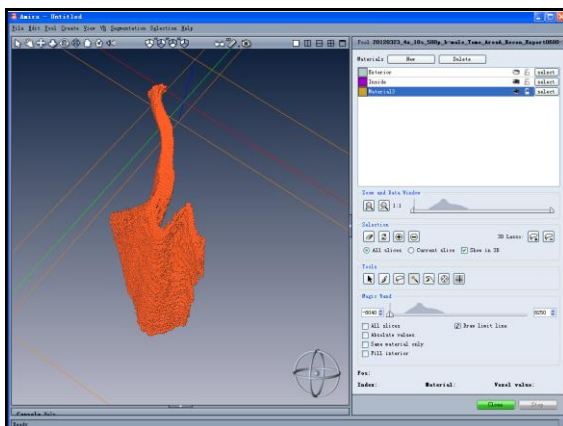
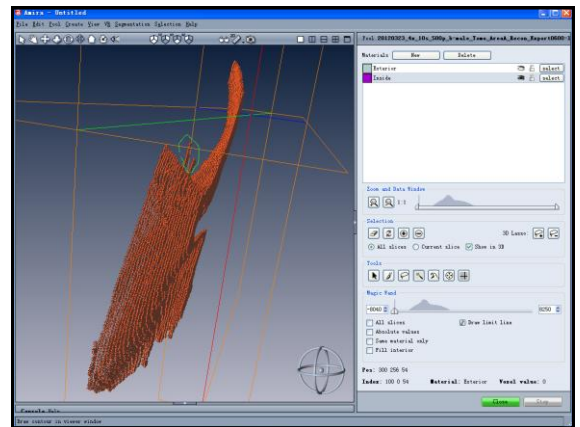
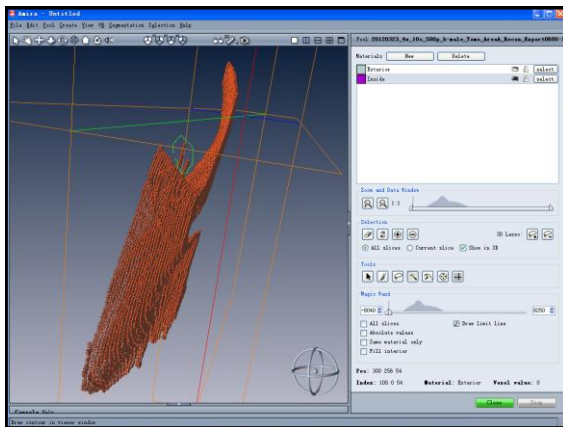
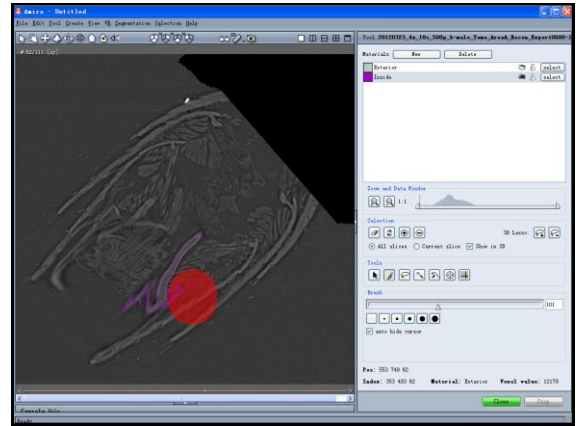
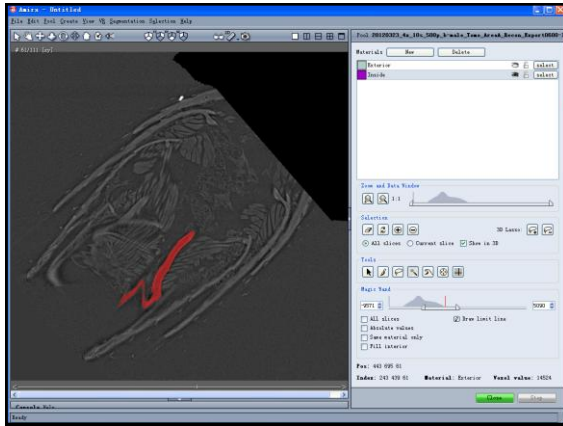
2.1. 导入数据

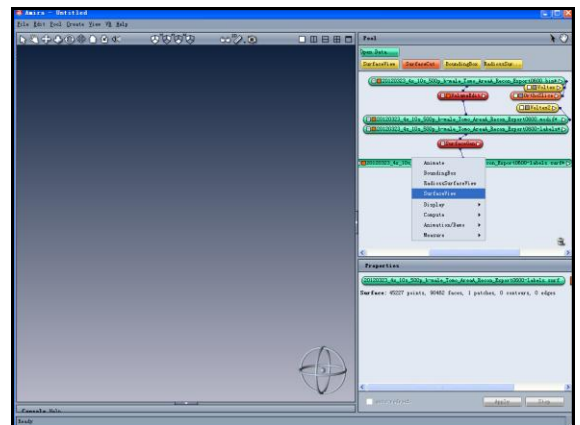
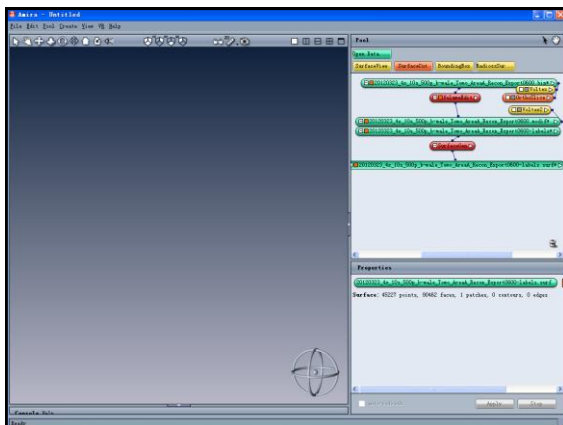
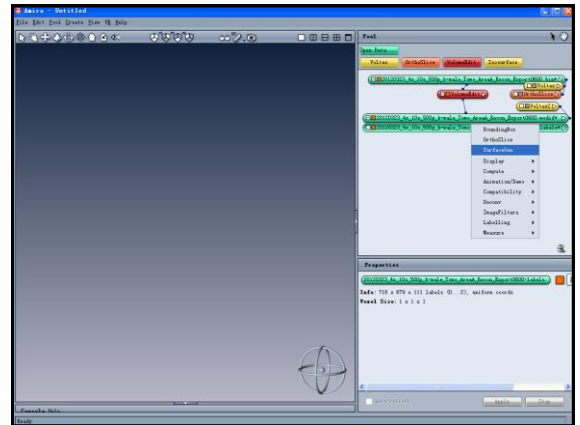
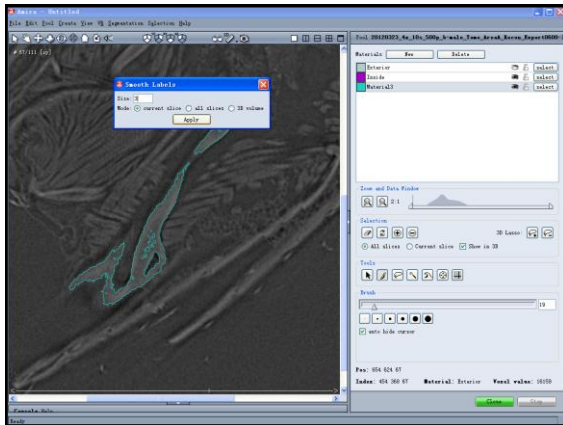
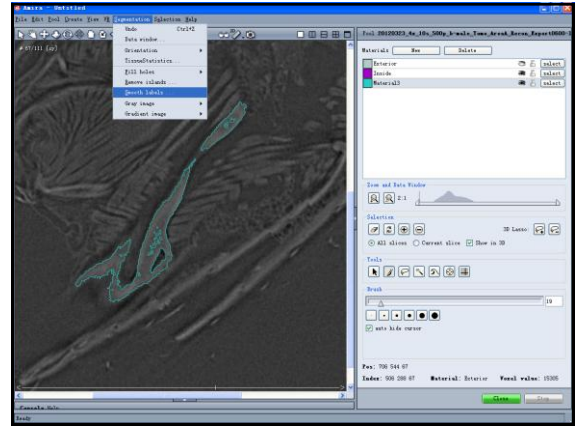
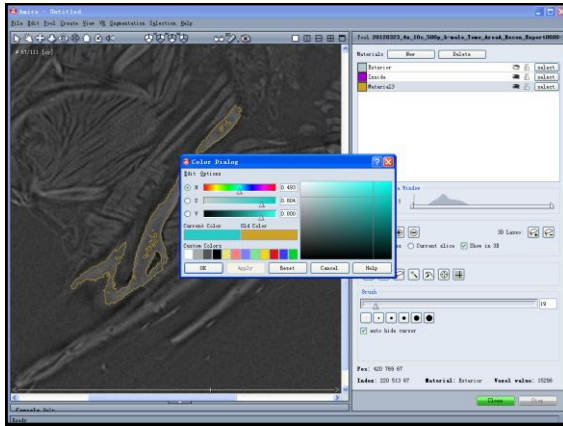


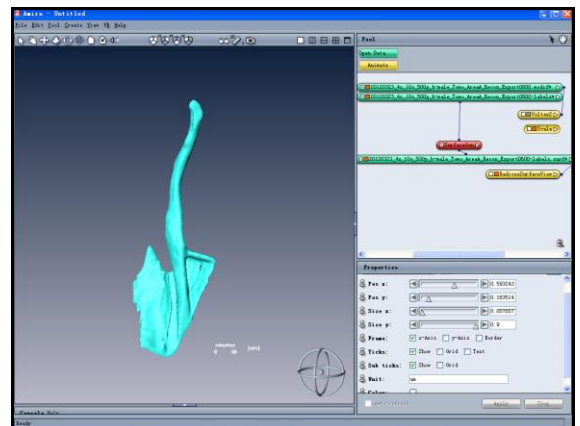
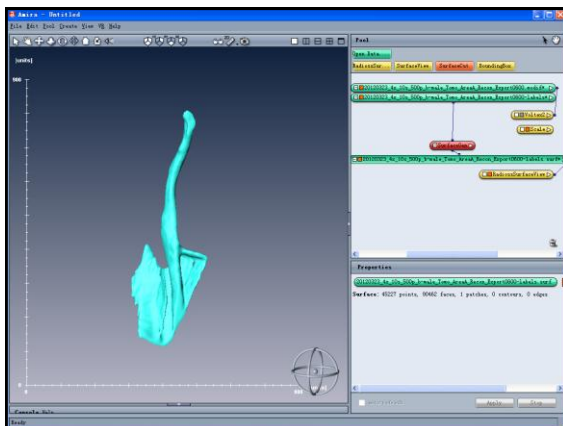
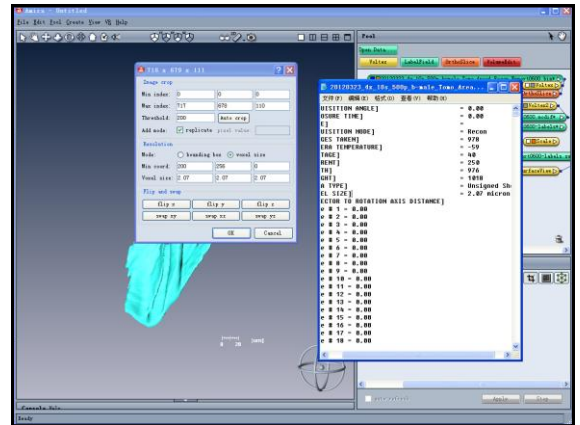
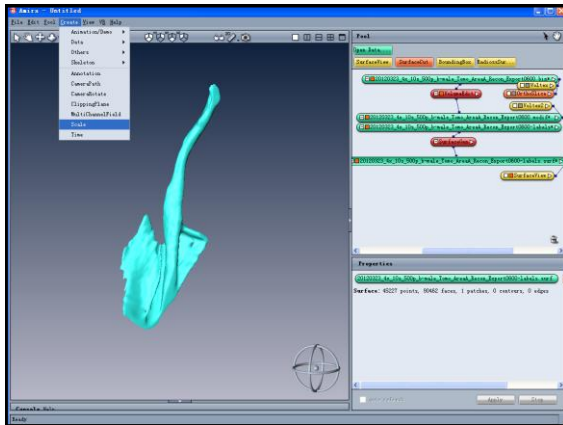
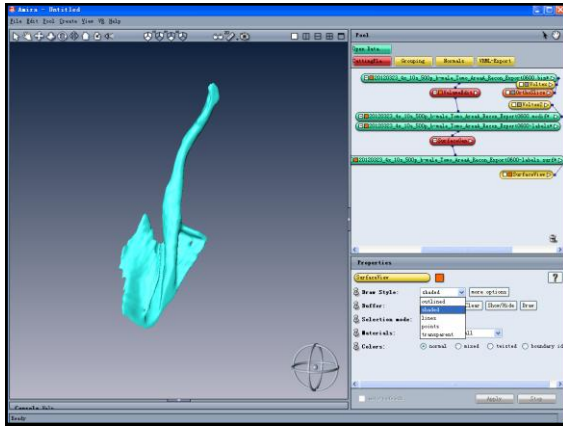




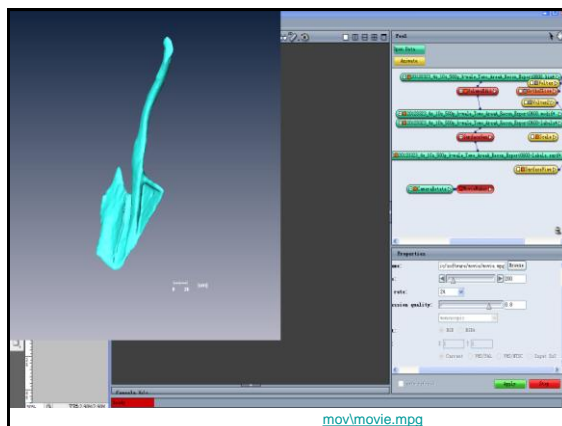
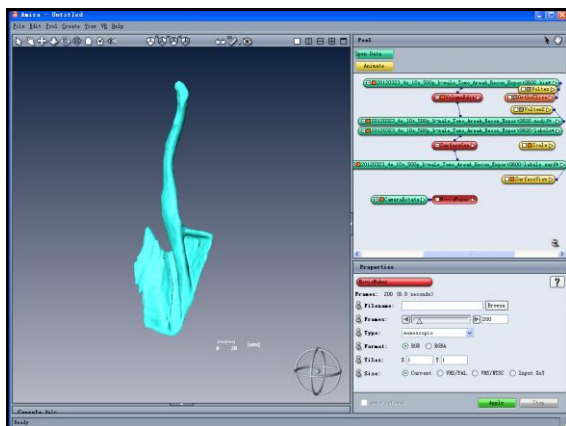
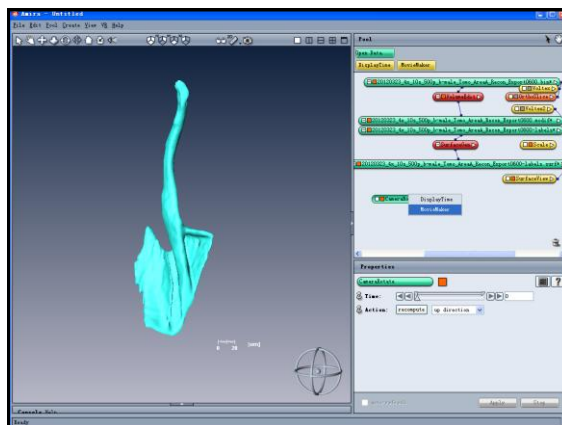
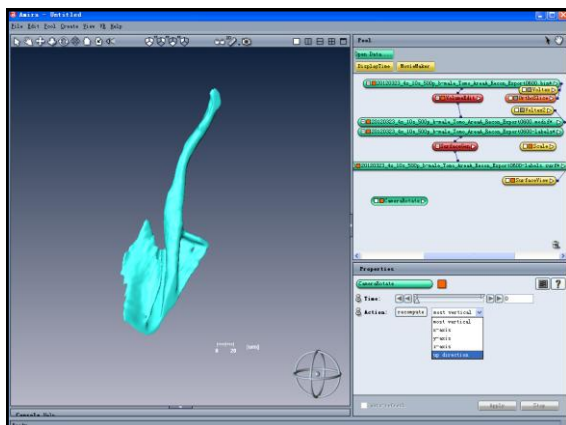
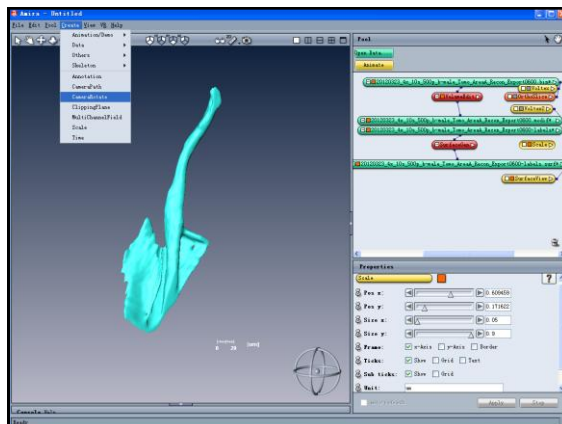




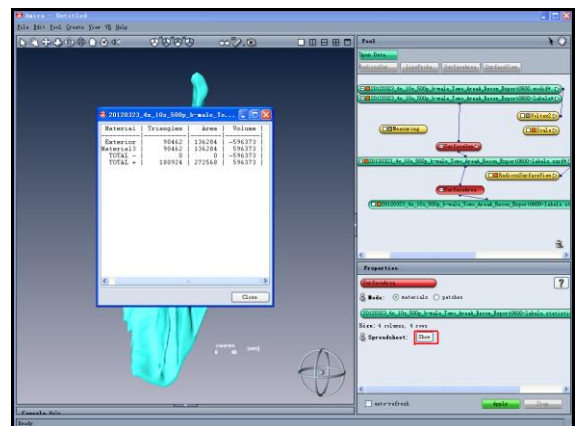
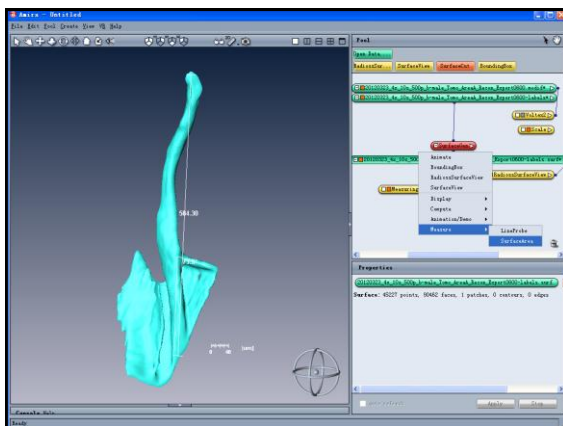
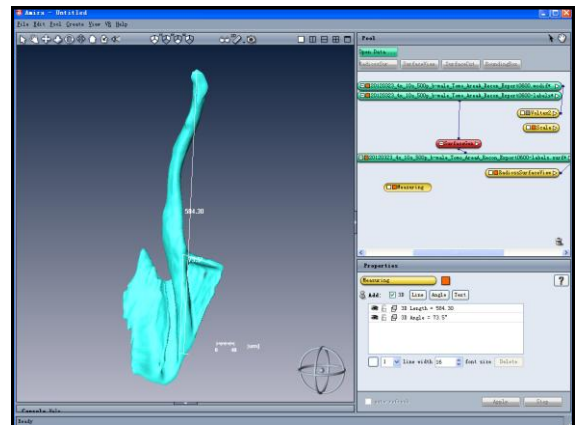
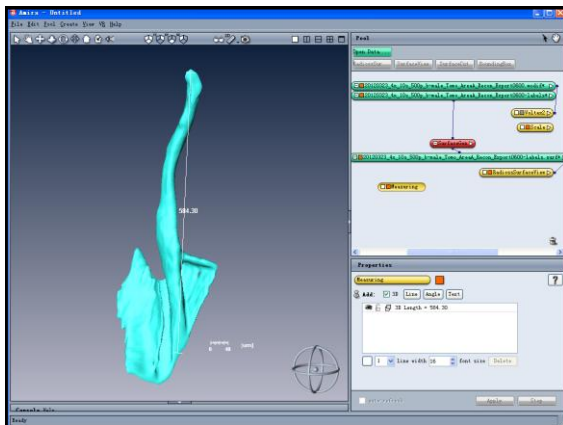
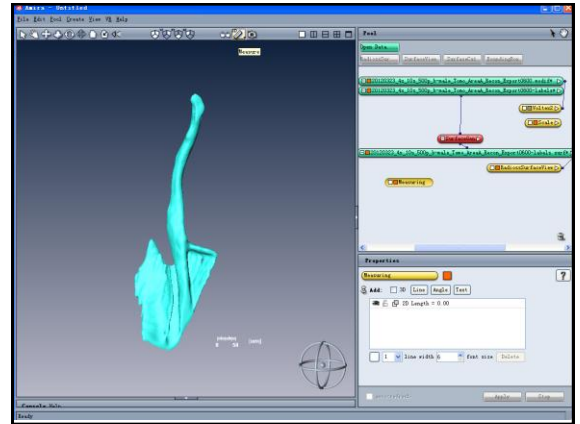




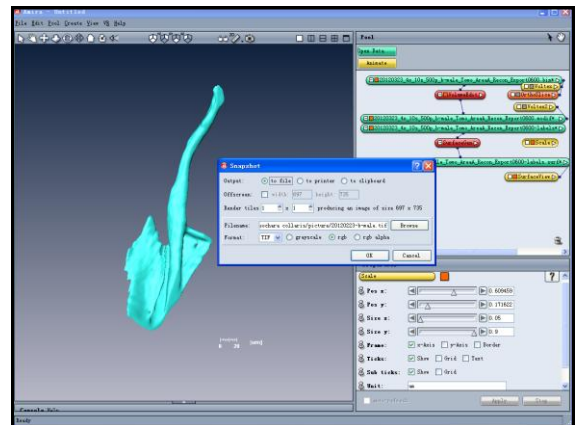
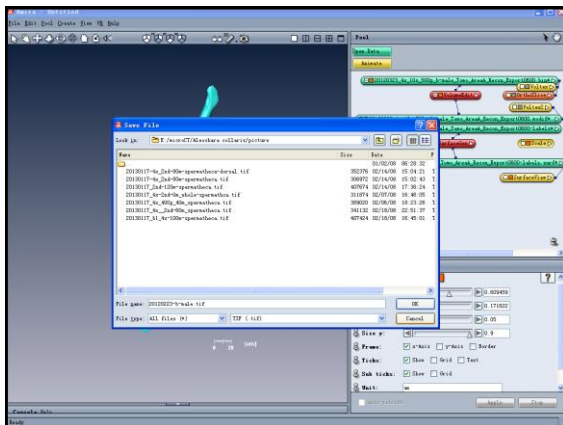
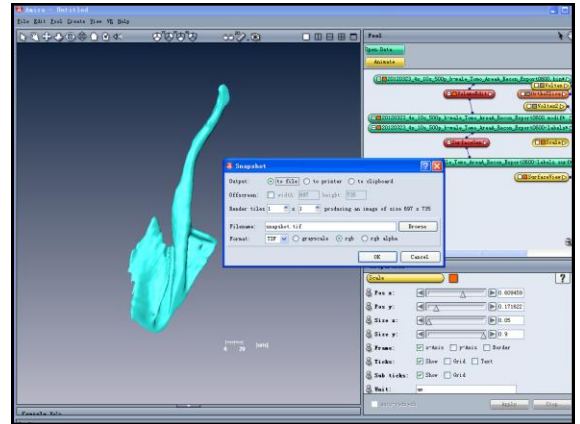
2.5. 动画制作



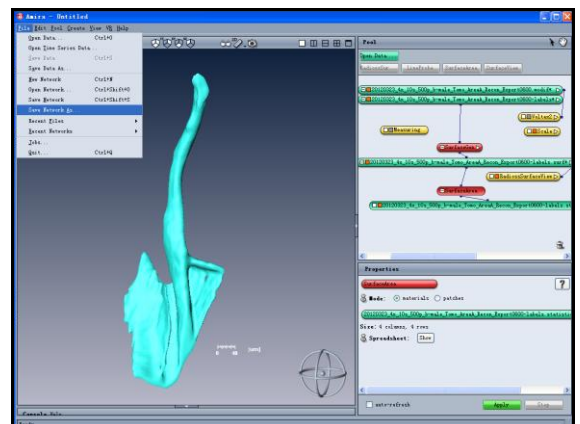
2.6. 测量

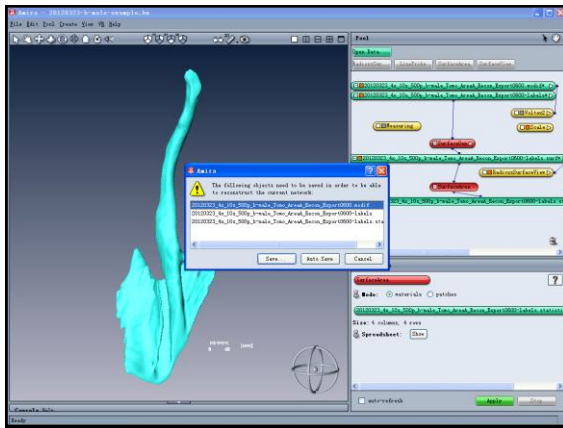


2.8. 截图



2.9. 数据保存





谢谢！

Avizo 软件的动画制作

报告人: 张凯

课题组: 多学科同步辐射形貌站

1 素材的准备: 图像分割技术

2 动画1, 2, 3

2013-11-18

2

1 素材的准备: 图像分割技术

2013-11-18

3

Avizo 动画制作

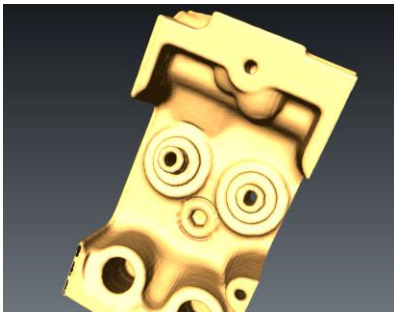
B S R F 2013-11-23

0.1 μm

2013-11-18

4

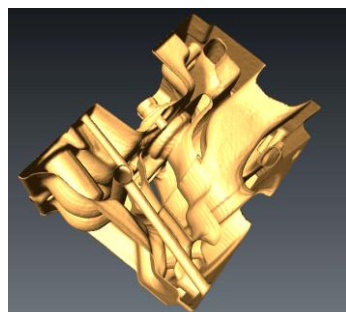
Avizo 动画制作



2013-11-18

5

Avizo 动画制作

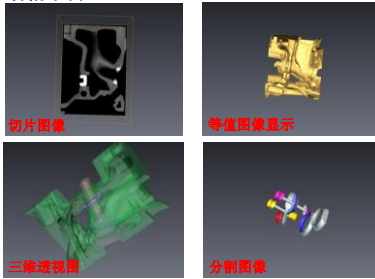


2013-11-18

6

Avizo 动画制作

● 素材的准备



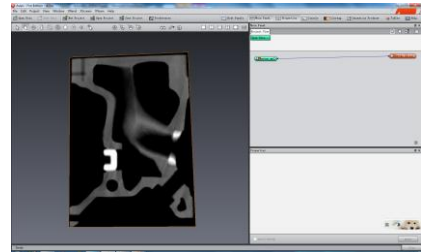
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

7

Avizo Fire 软件的图像分割方法

- 输入导入 视图窗口: open data
- 断层图像显示: ortho slice



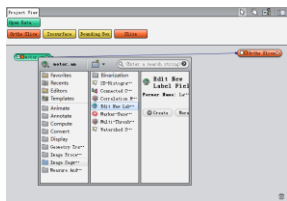
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

8

Avizo Fire 软件的图像分割方法

- Image segmentation: Edit New label Field 手动分割不同密度物质

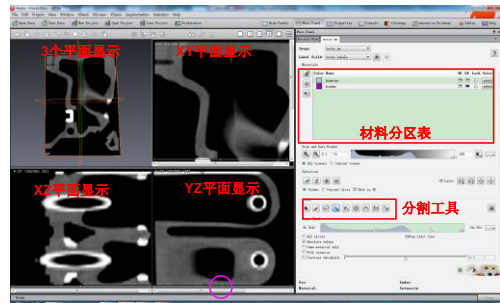


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

9

Avizo Fire 软件的图像分割方法



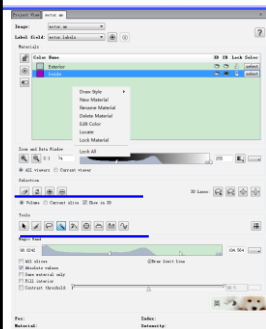
滑动该滑块可以切换不同断层图像

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

10

Avizo Fire 软件的图像分割方法



1. 在材料区分表中, 右键单击:

New material: 添加新材料
Edit color: 不同材料的表示
yance

2. Tools 工具栏选择 分割工具: 画笔, 魔法棒等

3. 用分割工具在切片图上标注相同密度物质的轮廓。

4. Selection 选项 点击+号按钮

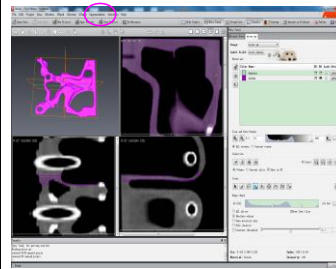
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

11

Avizo Fire 软件的图像分割方法

- 分割一种材料后



selection的使用:

例子: 在第60层, 用tool工具分割, 直接在65层再次用tool工具分割, 选择 Selection/Interpolate.

60-65层 同时一次被分割完毕

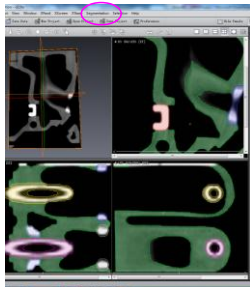
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

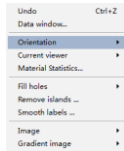
12

Avizo Fire 软件的图像分割方法

- 所有材料分割完成后



工具栏segmentation的使用:



Remove islands 和 Smooth Island
可以平滑边界

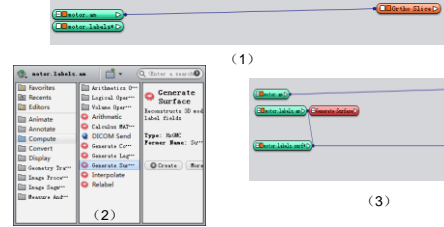
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

13

Avizo Fire 软件的图像分割方法

- 分割完成后产生 labels 的数据, 添加 generate surface 命令和 surface view



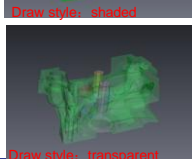
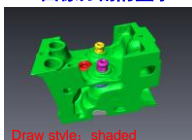
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

14

Avizo Fire 软件的介绍

- 3D 图像分割的显示



Draw style: transparent



可选取任何不同密度样品区域

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

15

2 动画 1

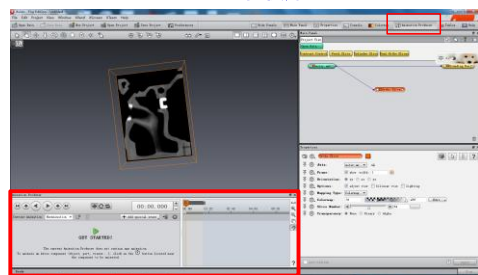
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

16

Avizo 动画制作

- Animation Producer button 的使用



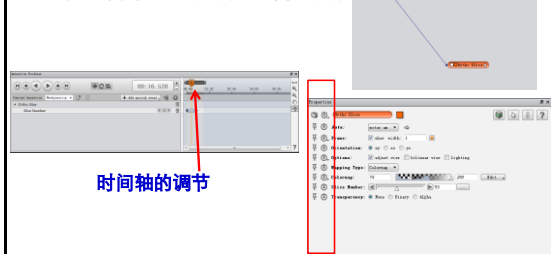
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

17

Avizo 动画制作

- 动画时长的调整, 切片图像的放映



时间轴的调节

切片图像属性

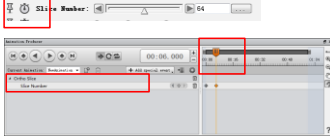
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

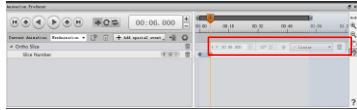
18

Avizo 动画制作

- 时间在0s, 点击一次中按按钮, 时间在10s, 再点击一次



- 设置切片从第几层到第几次播放



2013-11-18

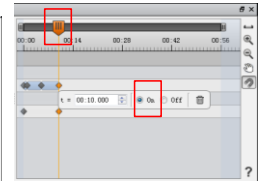
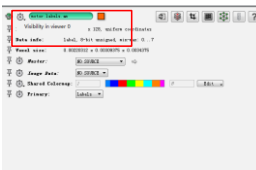
中国科学院高能物理研究所

19

Avizo 动画制作

- 分割图像的显示触发, 触发时间的选择

点击钟表, 选择Visibility viewer0



设置触发时间

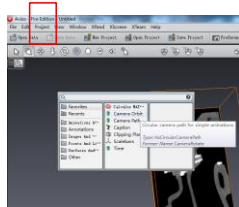
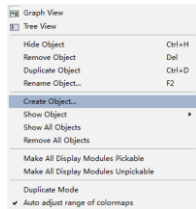
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

20

Avizo 动画制作

- 分割数据的旋转显示Project→Create Object→Camera Orbit



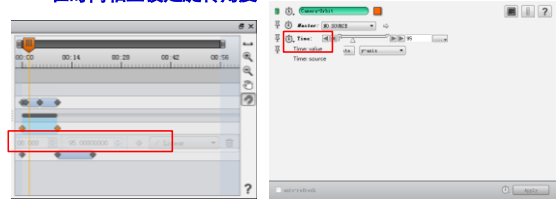
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

21

Avizo 动画制作

- 分割数据的旋转显示
- 1. 点击钟表, 选择Time Value
- 2. 在时间轴上设定旋转角度



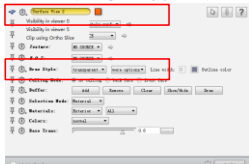
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

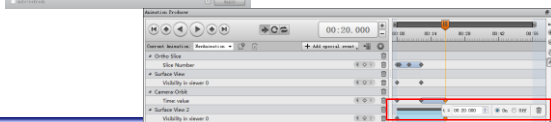
22

Avizo 动画制作

- 三维透视图像的显示



1. 添加surface view 2
2. Draw style: transparent
3. 点击钟表, 选择Visibility viewer0
4. 设置时间轴和开关



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

23

Avizo 动画制作

- 三维透视图像的显示
- 1. 点击钟表, 选择Clip Using Ortho slice
- 2. 设置触发开关



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

24

Avizo 动画制作

● 三维透视图像的显示

- 设置时间轴, 点击钟表, 加入 ortho slice 放映
- 设置播放的断层数目



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

25

Avizo 动画制作

● 设置暂停按钮



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

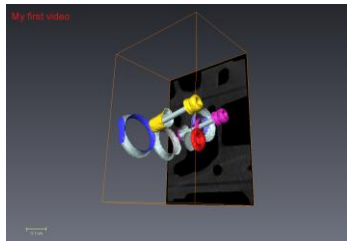
26

Avizo 动画制作

● 标尺、标题的添加

1.Scalebars

2.Caption



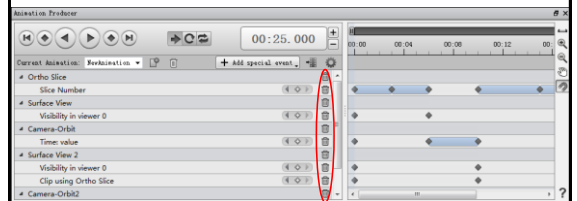
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

27

Avizo 动画制作

● 删除动画, 设定动画时长



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

28

Avizo 动画制作

● 循环播放的设置, 保存



编辑文件的保存
File/Save Project from the menu

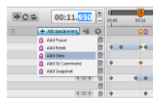


Figure 1.16: Clicks, jump to user specified time

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

29

Avizo 动画制作

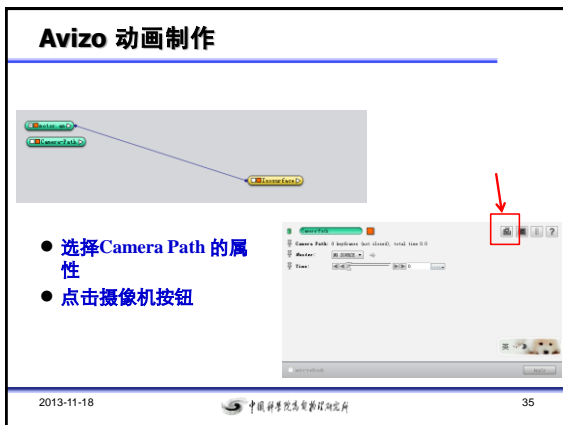
● 视频文件的输出



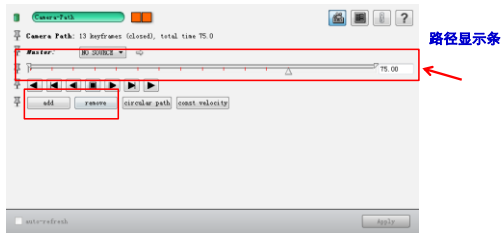
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

30



Avizo 动画制作



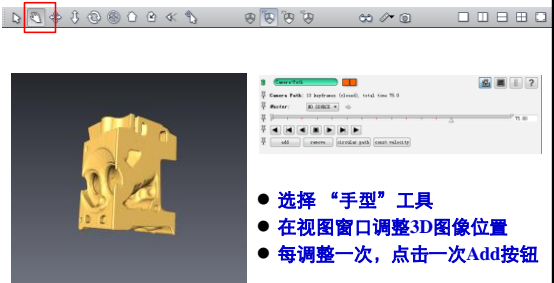
- 点击Add 或 remove 删除现有摄像机路径

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

37

Avizo 动画制作



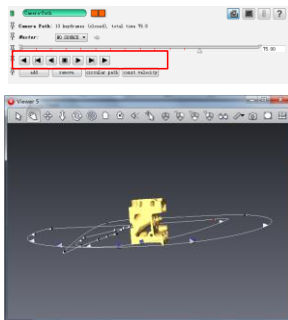
- 选择“手型”工具
- 在视图窗口调整3D图像位置
- 每调整一次，点击一次Add按钮

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

38

Avizo 动画制作



- 播放按钮查看制作结果
- 路径显示窗口查看路径是否正确
- 关闭路径显示窗口

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

39



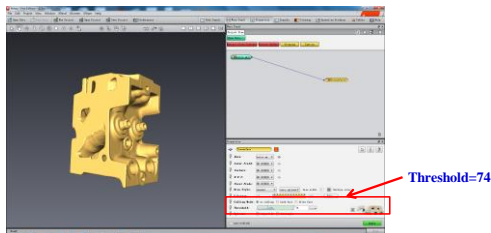
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

40

Avizo 动画制作

- 导入数据，Isosurface 创建 3D等值图像

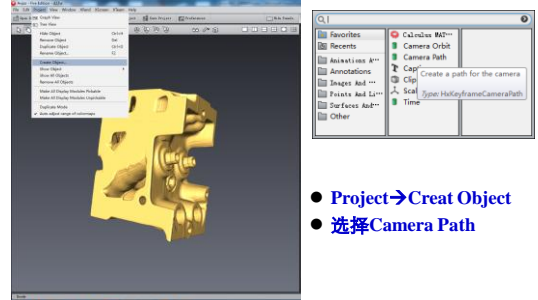


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

41

Avizo 动画制作



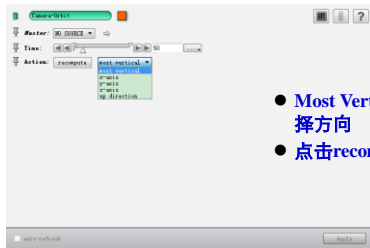
- Project→Creat Object
- 选择Camera Path

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

42

Avizo 动画制作



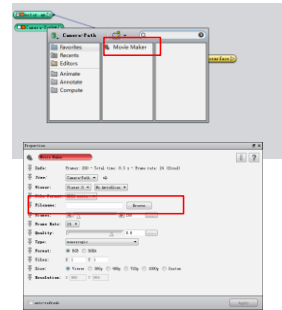
- Most Vertical 选择 选择方向
- 点击recompute

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

43

Avizo 动画制作



- 添加Movie Maker
- 选择保存路径
- 输出视频

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

44

Avizo 动画制作

- 最简单的视频动画的快速制作 MovieMaker



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

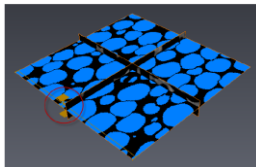
45

谢谢!

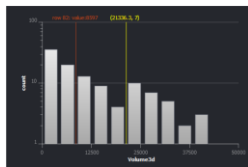
Thanks for Your Time!

Avizo 软件的图像处理过程

样品筛选



点击 图标，查找对应样品点



点击直方图按钮查看统计信息

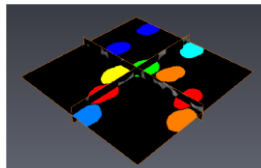
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

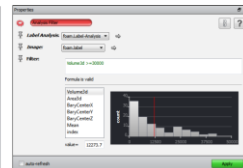
7

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加Analysis Filter命令,删除不需要的样品点



样品筛选



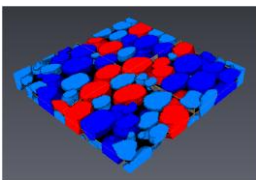
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

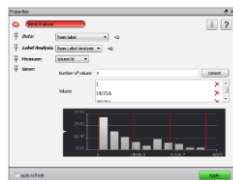
8

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加Sieve Filter命令,把样品分类显示



样品分类



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

9

应用例子2: 样品孔洞直径测量

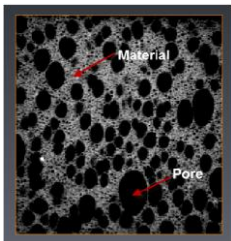
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

10

Avizo 软件的图像处理过程

- data/tutorials/fireedition/FoamPoro.am



图像处理的基本流程:

1. 载入数据
2. 二值化分割
3. 图像开运算
4. 样品分离
5. 数据分析
6. 创建自定义测量内容
7. 数据结果

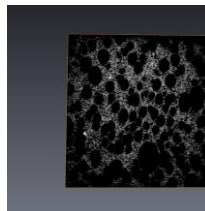
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

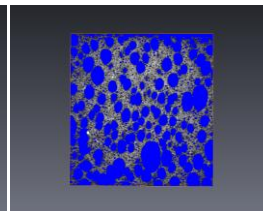
11

Avizo 软件的图像处理过程

- 载入数据,添加ortho slice命令显示图像
- 添加 Interactive Thresholding 命令进行图像分割



原始数据显示



图像分割后

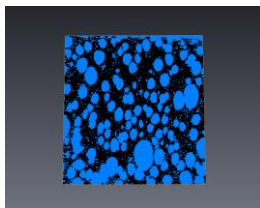
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

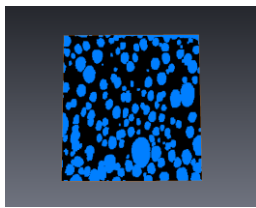
12

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加 Opening命令进行除噪声，平滑



Opening运算前



Opening运算后

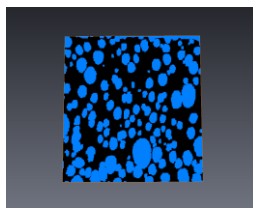
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

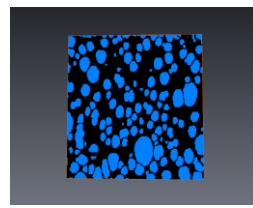
13

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加 separate 命令把连接在一起的样品分开



Separate 运算前



Separate 运算后

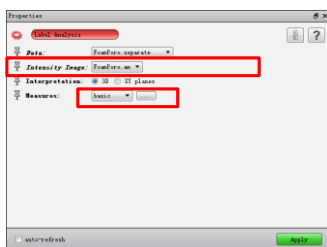
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

14

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加 Label Analysis，开始进行测量计算



Intensity Image:
FoamPora.am

点击“...”按钮

属性窗口

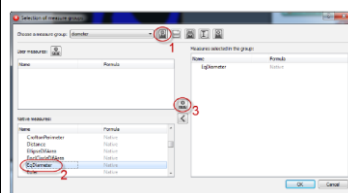
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

15

Avizo 软件的图像处理过程

- 自定义测量内容



点击1，新建group

点击2，选择测量项目

点击3，添加测量项目

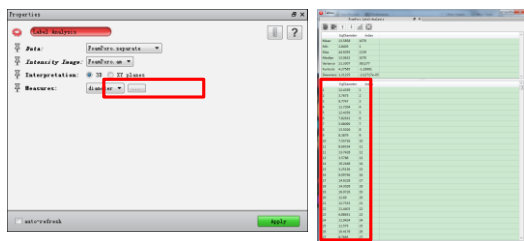
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

16

Avizo 软件的图像处理过程

- 在 Label Analysis 属性窗口中更改测量内容，获得直径信息



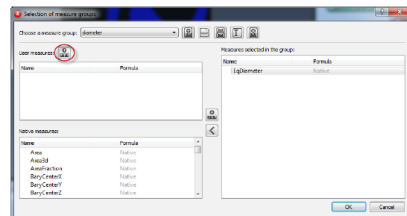
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

17

Avizo 软件的图像处理过程

- 在 Label Analysis 属性窗口中自定义球形检测函数



1.Label Analysis 属性窗口点击“...”按钮
2.点击上图图标

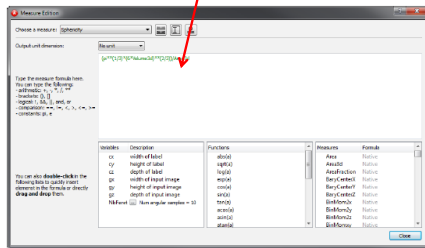
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

18

Avizo 软件的图像处理过程

输入自定义公式



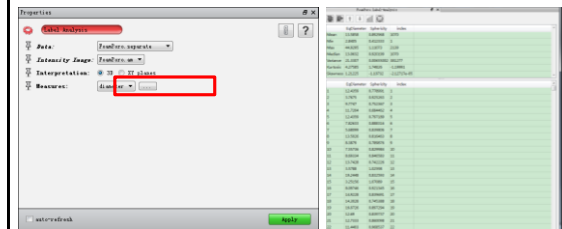
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

19

Avizo 软件的图像处理过程

- 在 Label Analysis 属性窗口中更改测量内容, 获得球型检测信息



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

20

Avizo 软件的图像处理过程

应用例子3: 分水岭图像分割算法

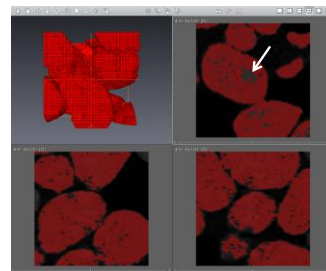
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

21

Avizo 软件的图像处理过程

- 最方便, 最简单的分割方法是 Threshold 命令



很多时候不是
很有效!

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

22

Avizo 软件的图像处理过程

- 分水岭算法的概念及原理 分水岭分割方法, 是一种基于拓扑理论的数学形态学的分割方法, 其基本思想是把图像看作是测地学上的拓扑地貌, 图像中每一点像素的灰度值表示该点的高度, 每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆, 而集水盆的边界则形成分水岭。分水岭的概念和形成可以通过模拟浸水过程来说明。在每一个局部极小值表面, 刺穿一个小孔, 然后把整个模型慢慢浸入水中, 随着浸入的加深, 每一个局部极小值的影响域慢慢向外扩展, 在两个集水盆汇合处构筑大坝, 即形成分水岭。分水岭的计算过程是一个迭代标注过程。

不需要了解原理, 只需会使用

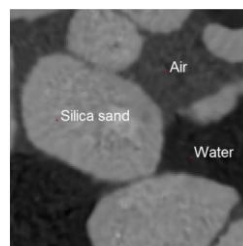
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

23

Avizo 软件的图像处理过程

data/sandpack/sandpack128-filtered.am



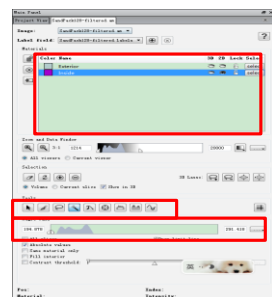
1. 载入图像
2. 用 Non-Local Means 滤波
3. 添加 Edit New Label Field 命令

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

24

Avizo 软件的图像处理过程



1. 将 Inside 更改为 Pore Space
2. 添加 Grains 材料
3. Tool 中选取 Threshold Tool.
4. 选取 All slices
5. 选取 Grains 和 Pore Space 的阈值.

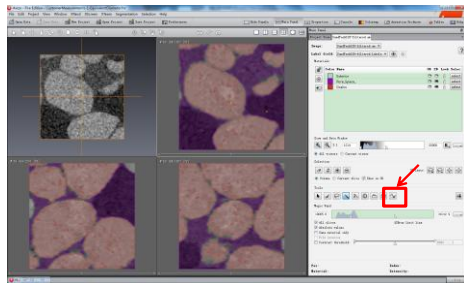
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

25

Avizo 软件的图像处理过程

- 选择分水岭算法

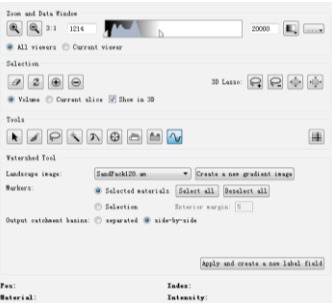


2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

26

Avizo 软件的图像处理过程



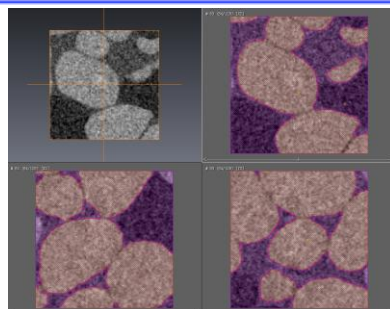
1. 在 Landscape image 中, 选择 Create a new gradient image.
2. 在 Output catchment basins 中选择 side-by-side
3. Apply

2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

27

Avizo 软件的图像处理过程



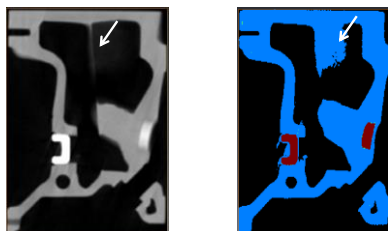
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

28

Avizo 软件的图像处理过程

- Threshold 命令的分割结果不是很好



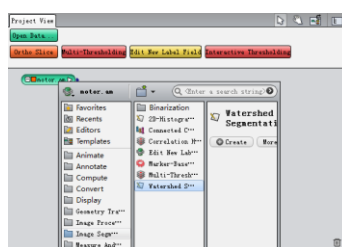
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

29

Avizo 软件的图像处理过程

- 添加 Watershed Segmentation wizard 命令



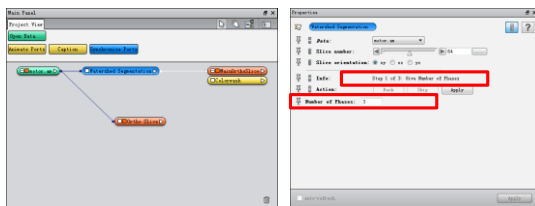
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

30

Avizo 软件的图像处理过程

- 设定要区分的材料为 3 种



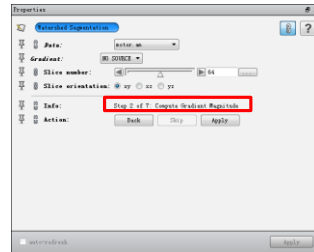
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

31

Avizo 软件的图像处理过程

- 软件提示进行 梯度计算, 点击Apply



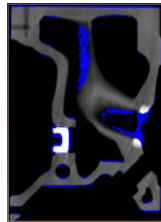
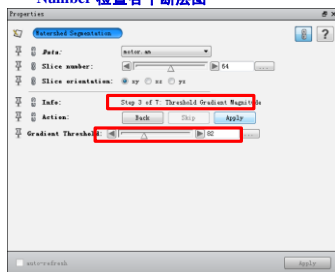
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

32

Avizo 软件的图像处理过程

- 设置合适的 阈值, 能够显示不同密度物质之间的边界, 改变Slice Number 检查各个断层图



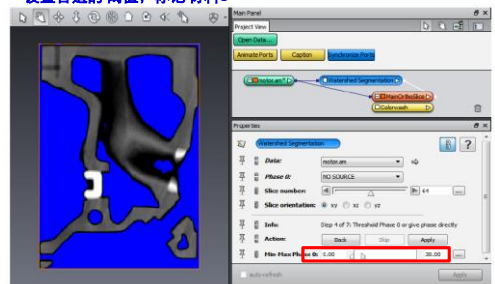
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

33

Avizo 软件的图像处理过程

- 设置合适的 阈值, 标记材料1



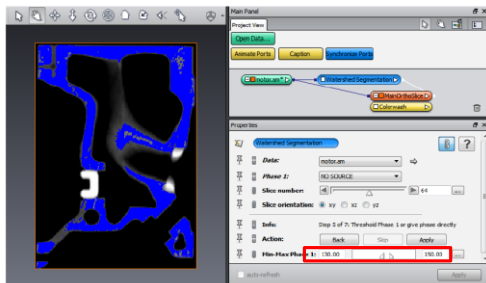
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

34

Avizo 软件的图像处理过程

- 设置合适的 阈值, 标记材料2



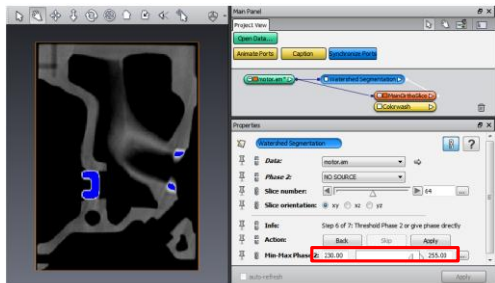
2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

35

Avizo 软件的图像处理过程

- 设置合适的 阈值, 标记材料3



2013-11-18

中国科学院高能物理研究所

36

Avizo 软件的图像处理过程

- 完成分割算法
- 生成 Basins

2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 37

Avizo 软件的图像处理过程

- 点击 Basins 属性框按钮
- 查看分割结果

2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 38

Avizo 的使用总结

2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 39

Avizo 的数据处理流程

流程	常用命令
数据导入	File-> Open data as 视图工具栏-> Open data
图像滤波	Smoothing, Median, Median, Unsharp masking, Sobel
断层切片显示	Ortho Slice, Slice
3D 图像显示	Isosurface, Volume Render, Volume edit

2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 40

Avizo 的数据处理流程

流程	常用命令
图像分割	Threshold, multiple threshold, Interactive threshold Watershed Segmentation wizard, Edit New Label Field, 形态学命令: closing, Opening, separate
分割图像显示	Generate surface, surface view
数据定量分析	Label Analysis, Line, angle, Line probe, point probe
3D 动画	Mover maker, Camera Orbit, Camera Orbit

2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 41

Avizo 的常用滤波函数分类

使用目的: 减少噪声, 提高图像质量, 方便图像分割和图像显示

平滑图像的滤波函数:
Median filter, Non-Local Means filter, and Anisotropic Diffusion filter.


提高图像对比度的滤波函数:
Unsharp masking

边缘检测滤波函数: Sobel


2013-11-18 中国科学院高能物理研究所 42

得到优质的原始图像数据是关键！！

2013-11-18

 中国科学院南京地质古生物研究所

43

 中国科学院南京地质古生物研究所

谢谢！

Thanks for Your Time!

