

衍射增强成像方法中两种晶体排列方式的对比研究*

黄万霞[†] 朱佩平[†] 袁清习 王 越 舒 航 胡天斗 吴自玉

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100049)

(2005 年 12 月 31 日收到, 2006 年 2 月 7 日收到修改稿)

北京同步辐射装置(BSRF)4W1A 光束线形貌学实验站近两年开展了两块晶体的衍射增强成像实验研究, 在实验中, 晶体转轴垂直于同步辐射偏振面时的图像质量好于晶体转轴平行于同步辐射偏振面时获取的图像. 本文从 X 光强度分布、单色器晶体的热膨胀、空间分辨率、角分辨率等方面系统地两种晶体几何排列方式进行了比较研究. 实验和理论分析的结果表明, 晶体转轴垂直于同步辐射偏振面时单色器晶体上的热膨胀对成像的影响较小, 因而获得了更好的成像质量.

关键词: 同步辐射, 衍射增强成像, 晶体衍射

PACC: 2920L, 6114F, 8170J

1. 引 言

相位衬度成像方法主要有三种, 它们分别是晶体干涉仪成像方法、同轴相衬成像方法和衍射增强成像方法. 衍射增强成像方法使用分析晶体, 并通过调整分析晶体的角度, 增强或减弱经过样品后透射、折射和小角散射的 X 射线, 因此衍射增强成像有三种产生衬度的机制, 它们分别是吸收衬度、折射衬度和滤除小角散射获得的消光衬度. 衍射增强成像的特点是可以利用其中一种衬度, 或者结合几种衬度得到图像衬度增强的样品的内部结构信息, 因而能够获得用常规 X 射线照相术看不到的低吸收物质的内部结构细节^[1, 2].

北京同步辐射装置 4W1A 束线形貌学实验站自 2001 年成功地拍摄第一张相位衬度图像后^[3], 近两年在衍射增强成像方面开展了理论和实验研究工作, 并将衍射增强成像方法应用于材料科学与生物医学领域, 取得了一系列的研究成果^[4-8]. 北京同步辐射装置储存环电子能量为 2.2 GeV, 4W1 扭摆器的特征能量为 5.8 keV, 高次谐波 X 射线强度较弱, 使我们采用两块 Si(111) 单晶(一块作单色器, 另一块作分析晶体)开展衍射增强成像研究. 在实验中, 我们采用两种晶体排列方式, 一种为晶体转轴平

行于同步辐射偏振面(即电子的轨道平面), 另一种为晶体转轴垂直于同步辐射偏振面, 见图 1. 前一种为国际上各大同步辐射装置普遍采用的方式^[9-12], 而后一种为北京同步辐射装置所特有的方式. 将两种晶体排列方式的成像结果进行比较, 我们发现晶体转轴垂直于轨道面时获得的图像质量要更好一些. 经初步分析, 晶体转轴垂直于轨道面放置能提高晶体的稳定性, 减小单色器晶体的热膨胀对成像的影响, 因而获得更好的图像. 本文对晶体转轴垂直于轨道面和平行于轨道面两种方式的衍射增强成像做了系统的比较, 从 X 光强度分布、单色器晶体的热膨胀、空间分辨率、角分辨率等方面讨论了两种方式对成像的影响.

2. 衍射增强成像原理简述

衍射增强成像系统通常由光源、单色器、样品、分析晶体和探测器组成. 北京同步辐射装置 4W1A 束线形貌学实验站采用一块 Si(111) 单晶作为单色器, 另一块 Si(111) 单晶作为分析晶体, 其基本光路如图 1 所示. 由同步辐射光源发出的具有连续谱的 X 射线经过单色器的反射, 成为特定能量的单色光, 单色光束穿过样品时, 与样品发生复杂的相互作用, 其中对衍射增强成像有贡献的有吸收、折射和小角

* 国家自然科学基金(批准号: 10504033, 10490194)和中国科学院高能物理研究所科技创新经费(课题号: 0454562U12)资助的课题.

[†] E-mail: huangwx@ihep.ac.cn, Zhupp@ihep.ac.cn

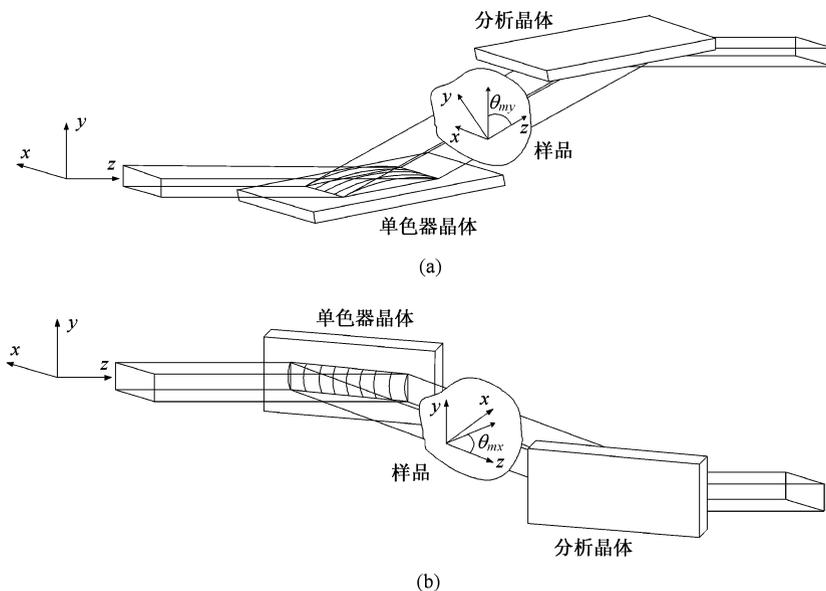


图1 两种晶体几何排列方式的光路及热膨胀示意图 (a)晶体转轴平行于轨道面 (b)晶体转轴垂直于轨道面

散射、折射和小角散射效应均使 X 射线的传播方向发生偏转,不同的是,在折射过程中,由物体中某一部分所引起的 X 射线的偏转角度是固定的,物体中不同部分的折射角的变化范围从零到几个微弧度。而在小角散射过程中, X 射线的偏转角度是随机的,一根 X 射线可分叉为多根偏转方向不同的 X 射线,角度分布范围从零到几个毫弧度。

单色器晶体和分析晶体是衍射增强成像系统中的关键元件,分别放置在样品前后,起角度过滤器的作用。根据晶体衍射动力学,只有入射角度在布拉格角附近很窄角度内的 X 射线才能被晶体反射而到达探测器,反射强度由分析晶体的摇摆曲线决定(参见^[7]图1)。当分析晶体转角等于布拉格角时,反射强度最大等于 1,随着分析晶体转角偏离布拉格角越大,反射强度越小,当分析晶体转角偏离布拉格角到一定范围时,反射强度接近于零,这个角度范围称为分析晶体的接收角。当分析晶体的转角固定时, X 射线传播方向的偏离可等效于分析晶体转角偏离布拉格角,因此,经样品后偏转角度不同的 X 射线在分析晶体上获得的反射率不同,偏转角度超出分析晶体接收角范围的 X 射线将完全被分析晶体滤掉。

利用衍射增强成像方法可以得到两种直接像。一种是分析晶体与单色器晶体平行,位于摇摆曲线峰位,穿过样品后传播方向不变的透射光,可获最大的反射率,即峰位像。在传统 X 射线成像中,穿过样

品后方向发生偏离的折射光和散射光混杂在透射光中参与成像,引起像斑模糊从而导致图像分辨率和衬度降低,而在衍射增强峰位成像中,偏离角度大于分析晶体接收角的折射和小角散射全部被滤除,不但消除了这部分小角散射引起的像模糊,而且获得了类似于吸收衬度的消光衬度,因此,峰位像是吸收衬度和消光衬度的结合。

另一种是为了利用摇摆曲线腰部的线性区域,将分析晶体与单色器晶体的夹角调到摇摆曲线的半高宽位置,即腰位像。此时,穿过样品后传播方向不变的透射光的反射率约为 50%。由于摇摆曲线腰部是线性区域,穿过样品后的 X 射线中,接近布拉格角的折射光的反射率高于透射光的反射率,而远离布拉格角的折射光的反射率将低于透射光的反射率,由此可得到与折射角成正比的衬度,即折射衬度。因此在腰位成像中,除了能获得吸收衬度和消光衬度以外,还能获得与折射角成正比的折射衬度。

利用腰位像可以得到两种合成像,其数学式可表示为^[9]

$$I_R = \frac{I_L \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_H} - I_H \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_L}}{R(\theta_L) \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_H} - R(\theta_H) \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_L}} = I_L + I_H \quad (1a)$$

$$\Delta\theta_Z = \frac{I_H R(\theta_L) - I_L R(\theta_H)}{I_L \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_H} - I_H \frac{dR}{d\theta} \Big|_{\theta_L}} = \frac{\omega_D}{2} \frac{I_L - I_H}{I_L + I_H}, \quad (1b)$$

式中 I_R 为穿过样品并进入分析晶体接收范围的光强, $\Delta\theta_z$ 为 X 射线经样品折射后的折射角, I_L 和 I_H 分别为低角一侧 θ_L 和高角一侧 θ_H 所得腰位像的光强, R 为分析晶体反射率, ω_D 为摇摆曲线的半高宽. 当 θ_L 和 θ_H 选取在半高宽的位置, 可得到右端简化的式子. 如果在像素的基础上对由低角和高角一侧所得的腰位像作上式的计算, 那么由 (1a) 式可以得到一个类似于吸收像的图像, 称为表现吸收像, 由 (1b) 式可得到一个表示折射角分布的折射像.

因为衍射增强成像与单色器晶体和分析晶体的布拉格反射密切相关, 所以晶体相对入射光的排列方式, 以及布拉格反射晶面因为热膨胀发生变形时, 都会对成像产生影响, 下一节将就对此问题展开讨论.

3. 对比研究

3.1. 光源

北京同步辐射装置 4W1 扭摆器为磁场方向垂直于水平面的单周期磁铁, 磁场强度为 1.8T, 由于洛伦兹力的作用, 电子束通过扭摆器时, 在水平面内发生来回扭摆. 因而这种周期磁铁被称为扭摆器. 电子在扭摆过程中获得向心加速度, 发出水平偏振的

X 射线. 电子束团在水平方向和垂直方向的尺寸分别为 $2\sigma_x = 1.64\text{mm}$ 和 $2\sigma_y = 0.60\text{mm}$, 其中 σ_x 和 σ_y 分别为电子水平和垂直方向的均方根偏差值. 由于光源尺寸不但取决于电子束团尺寸, 而且还与电子束附近的电磁场有关^[13], 所以光源有效尺寸在水平方向为 $\sigma_{x,\text{eff}} = 2.2\text{mm}$, 在垂直方向为 $\sigma_{y,\text{eff}} = 0.8\text{mm}$. 由于电子在水平面内振荡, 所以产生的同步辐射在水平方向为均匀分布, 而在竖直方向为高斯分布. 实验用光为波长连续分布的白光, 从 4W1 扭摆器通过 43m 长的真空管道引到形貌学实验站, 光通量较高的能量范围为 3—22keV. 经过单色器晶体的布拉格反射, 多色的 X 射线变为单色的 X 射线照射在样品上.

3.2. 单色光强分布和分析

在实验中, 对两种晶体排列方式下 X 光强度分布的均匀性进行了测量. 在无样品、两块晶体平行的条件下, 分别测量两种方式下的光强分布. 在这两幅光强分布图像中, 各选取一条水平线作灰度曲线图, 对水平方向的光强分布进行比较, 再选取一条竖直线作灰度曲线图, 对竖直方向的光强分布进行比较, 结果见图 2. 图 2(a)(c) 分别是晶体转轴平行于轨道面时竖直方向和水平方向的光强分布, 图 2(b),

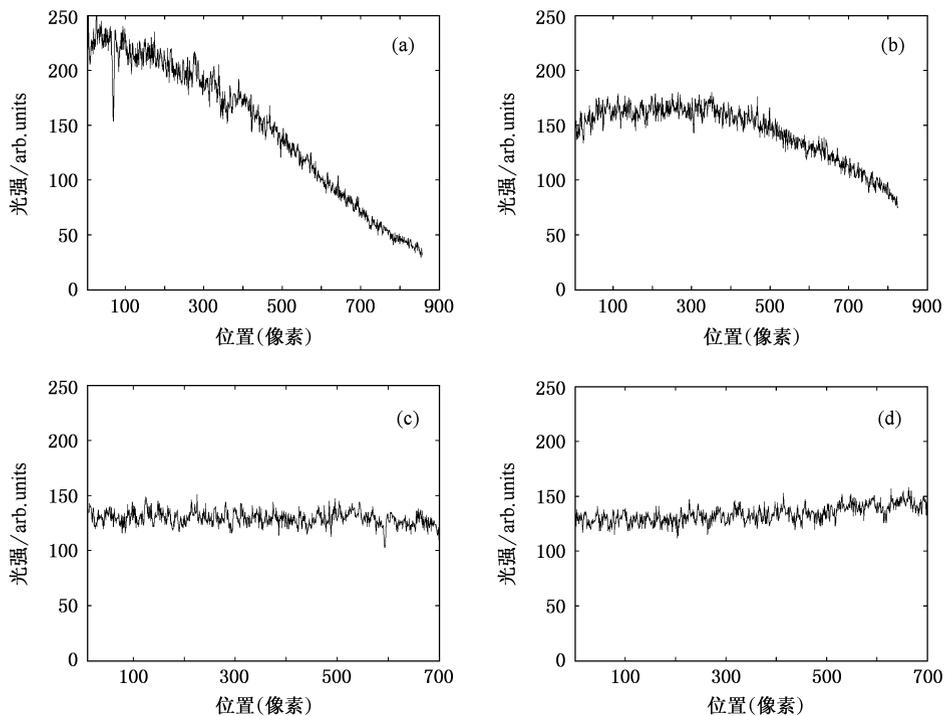


图 2 (a) 晶体转轴平行轨道面时竖直方向的光强分布 (b) 晶体转轴垂直轨道面时竖直方向的光强分布, (c) 晶体转轴平行轨道面时水平方向的光强分布 (d) 晶体转轴垂直轨道面时水平方向的光强分布

(d) 分别是晶体转轴垂直于轨道面时竖直方向和水平方向的光强分布. 从图中可以看出, 在相同的入射光强的条件下, 两种晶体排列方式在水平方向所得的光强分布基本上是均匀的, 在竖直方向, 当晶体转轴平行于轨道面时, 光强分布变得很不均匀, 而当晶体转轴垂直于轨道面时, 光强分布与入射光强分布基本一致, 为高斯分布的一部分.

出现这样的结果是由于第一块晶体(即单色器晶体)在 X 射线辐照下发生热膨胀引起的^[6]. 照射在单色器晶体上的 X 射线为包含多种波长的白光, 其强度高, 从而使单色器晶体产生不能忽略的热膨胀. 而照射到分析晶体上的 X 射线为单色器晶体产生的单色光, 其强度远低于白光, 因此分析晶体因 X 射线照射而产生的热膨胀可以忽略. 下面定性分析单色器晶体的热膨胀问题, 并应用 ANSYS 软件^[14] (基于有限元方法) 进行定量分析.

由于 4W1 光源产生的同步辐射在水平方向为均匀分布, 在竖直方向为高斯分布, 所以会引起两种晶体排列方式在热膨胀上的差异. 如图 3 所示, 在水平方向, 由于 X 射线强度为均匀分布, 当晶体转轴平行于轨道面时, 单色器晶体在沿平行转轴方向上(弧矢面)产生较缓的热膨胀; 当晶体转轴垂直于轨道面时, 单色器晶体在沿垂直转轴方向上(子午面)产生较缓的热膨胀. 在竖直方向, X 射线强度为高斯分布, 当晶体转轴平行于轨道面时, 单色器晶体在沿垂直于晶体转轴方向(子午面)出现类高斯分布的热膨胀; 当晶体转轴垂直于轨道面时, 单色器晶体在沿平行于晶体转轴方向(弧矢面)出现类高斯分布的热膨胀. 图 4 为用 ANSYS 软件计算的单色器晶体热膨胀坡度的分布情况. 图 4(a) 为两种晶体排列方式在子午面内单色器晶体的热膨胀坡度, 图 4(b) 为两种晶体排列方式在弧矢面内单色器晶体的热膨胀坡度.

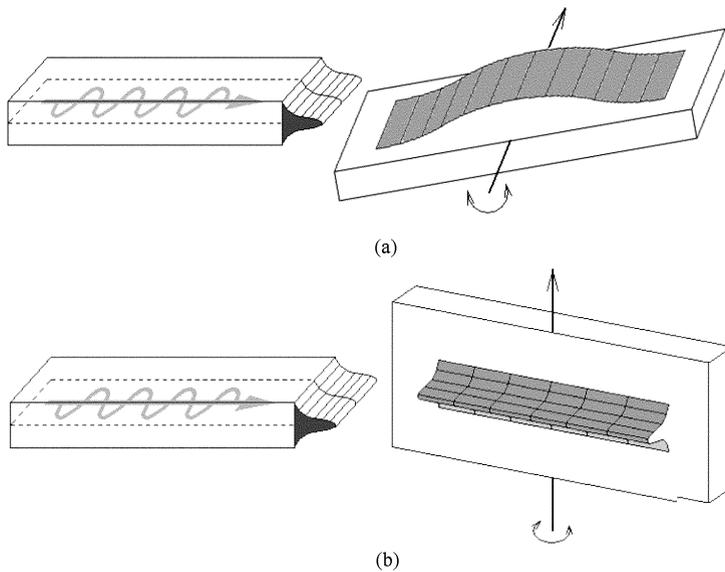


图 3 (a) 晶体转轴平行于轨道面对, 单色器晶体的晶面沿子午面出现类高斯分布的热膨胀 (b) 晶体转轴垂直于轨道面时, 单色器晶体的晶面沿弧矢面出现类高斯分布的热膨胀

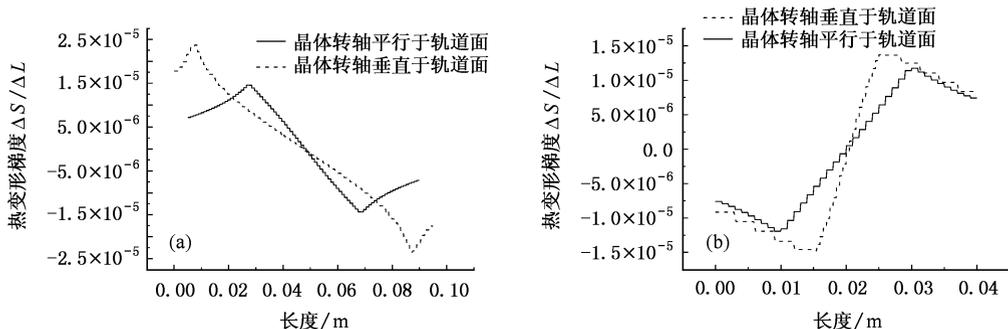


图 4 晶体转轴分别平行和垂直轨道面时 (a) 子午面内的热膨胀坡度, (b) 弧矢面内的热膨胀坡度

上述定性分析和 ANSYS 软件计算结果都表明,当晶体转轴平行于轨道面时,热膨胀坡度在弧矢面较缓,而在子午面较陡;当晶体转轴垂直于轨道面时,热膨胀坡度在弧矢面较陡,而在子午面较缓.根据反射光学和晶体衍射分析^[14],晶体衍射对子午面的坡度非常敏感,而对弧矢面的坡度不敏感.因此只须考虑子午面热膨胀坡度对晶体衍射的影响,而忽略弧矢面热膨胀坡度的影响.

根据理论分析结果,可知当晶体转轴平行于轨道面时,热膨胀在子午面形成的坡度较大,结果使在竖直方向的单色光强分布很不均匀.而当晶体转轴垂直于轨道面时,热膨胀在子午面形成的坡度较小,

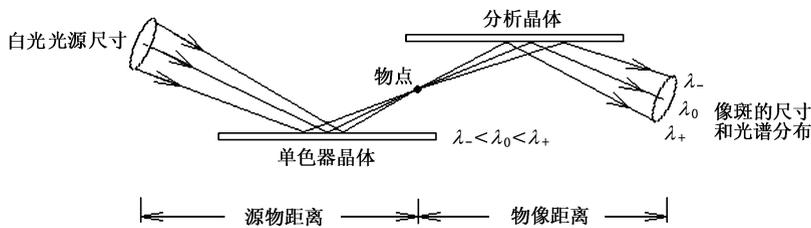


图5 光源尺寸决定衍射增强成像空间分辨率

对于 4W1A 束线,其水平和垂直方向的空间分辨率分别为

$$\delta_h = \frac{\sigma_{x,\text{eff}} \times d}{L} \approx 5.1 \mu\text{m} \quad (\text{水平}) \quad (2a)$$

$$\delta_v = \frac{\sigma_{y,\text{eff}} \times d}{L} \approx 1.9 \mu\text{m} \quad (\text{垂直}) \quad (2b)$$

式中 $\sigma_{x,\text{eff}}$ 和 $\sigma_{y,\text{eff}}$ 分别为光源水平和垂直方向的尺寸, L 为光源到样品的距离, d 为样品到探测器的距离.在实验中, d 均为 100mm.从(2)式可以看出,空间分辨率与晶体几何排列方式无关,因此对于晶体转轴平行和垂直轨道面两种方式,空间分辨率是相同的,且垂直方向的空间分辨率高于水平方向的空间分辨率.

3.4. 角分辨率的分析和实验研究

当分析晶体置于摇摆曲线腰部线性区域时,X射线穿过样品时产生的微小的折射将改变其在分析晶体上的入射角,从而改变经分析晶体反射的强度,摇摆曲线陡峭的斜坡扮演了衬度放大器的角色,最后在探测器上可以得到与折射角成正比的折射衬度.值得注意的是,衍射增强成像为一维角度滤波成像,分析晶体只对子午面内的角度具有分辨能力,而

对单色光强分布和成像的影响也较小,因此获得的成像质量较高.

3.3. 空间分辨率

成像系统的空间分辨率,是指能看清楚的两个物点之间的最小间隔^[15],它由光源尺寸、晶体衍射、物体散射和探测器像素尺寸等多种因素决定.因为在很多情况下,光源尺寸是决定空间分辨率最主要和最根本的因素,所以本文只讨论光源尺寸与空间分辨率的关系.衍射增强成像系统的空间分辨率由光源尺寸、光源到物的距离和物到像的距离决定,见图5.

对弧矢面内的角度没有分辨能力.

当晶体转轴平行于轨道面时,分析晶体的子午面位于 $y-z$ 平面(即垂直于轨道面的平面,见图1),因此只有折射角在 $y-z$ 平面的分量 θ_{my} 才能被分析晶体调制,从而在垂直于轨道面方向得到折射衬度.由于折射衬度来源于 X 射线在样品中微小的折射角,所以说在垂直于轨道面方向获得了高的角分辨率.当晶体转轴垂直于轨道面时,分析晶体的子午面位于 $x-z$ 平面(即平行于轨道面的平面),因此只有在 $x-z$ 平面的折射角分量 θ_{mx} 才能被分析晶体调制而产生折射衬度,因此在平行于轨道面方向获得了高的角分辨率.

实验中选取有机树脂棒样品做角分辨率的研究.样品为直径 3mm 的圆柱状聚乙烯树脂棒,树脂棒中几个直径约 $200 \mu\text{m}$ 和 $300 \mu\text{m}$ 的圆柱孔 a, b, c, d. a 的轴向垂直树脂棒, c, d 的轴向平行树脂棒, b 为一倾斜的孔,孔里均为空气.用腰位成像方法研究两种晶体排列方式的角分辨率,图6为腰位成像实验结果.可以看到,当晶体转轴平行于轨道面时,沿垂直于轨道面方向具有高的角分辨率,可得到增强的折射衬度,而在沿平行于轨道面方向角分辨率为零,所得的衬度来源于菲涅耳衍射,其强度远低于沿竖直方向所得的折射衬度,见图6(a)(b)所示.当

晶体转轴垂直于轨道面时则相反,沿平行于轨道面方向具有高的角分辨率,而在沿垂直于轨道面方向角分辨率为零,其菲涅耳衍射衬度远低于沿水平方向所得的折射衬度,见图 6(c)(d)所示。

图 7 对两种晶体排列方式的折射衬度和菲涅耳衍射衬度进行定量比较,对于一个成像系统,图像衬度可以定义为

$$C = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{G_{\max} + G_{\min}} = \frac{\Delta G}{G} \quad (3)$$

其中, G_{\max} 和 G_{\min} 分别表示灰度的最大值和最小值, G 表示灰度的平均值, ΔG 表示灰度的变化量。图 7(a)为晶体转轴平行于轨道面方式的折射衬度(图 6(b)中沿 a 孔横截面的灰度曲线)和菲涅耳衍射衬度(图 6(a)中沿 a 孔横截面的灰度曲线)的比较结果,可见折射衬度比菲涅耳衍射衬度在数值上高 4 倍左右。同理,图 7(b)为晶体转轴垂直于轨道面方式的折射衬度与菲涅耳衍射衬度相比较的结果,可见折射衬度比菲涅耳衍射衬度在数值上高 3 倍左右。

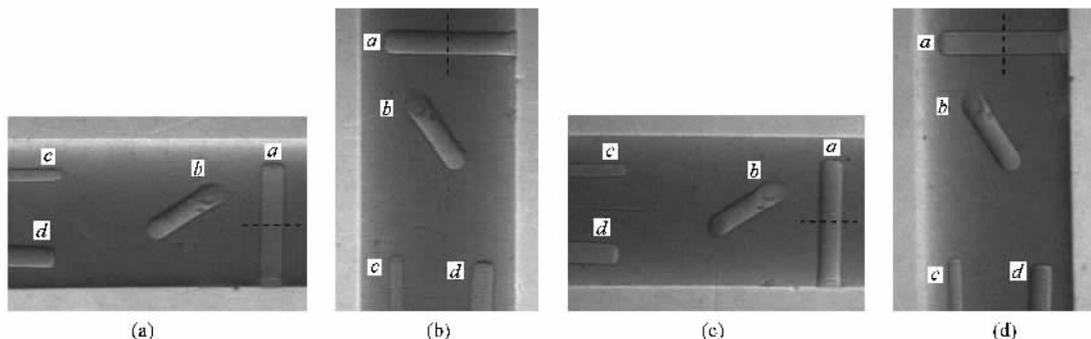


图 6 (a)晶体转轴平行于轨道面,树脂棒水平放置的腰位像 (b)晶体转轴平行于轨道面,树脂棒垂直放置的腰位像 (c)晶体转轴垂直于轨道面,树脂棒水平放置的腰位像 (d)晶体转轴垂直于轨道面,树脂棒垂直放置的腰位像

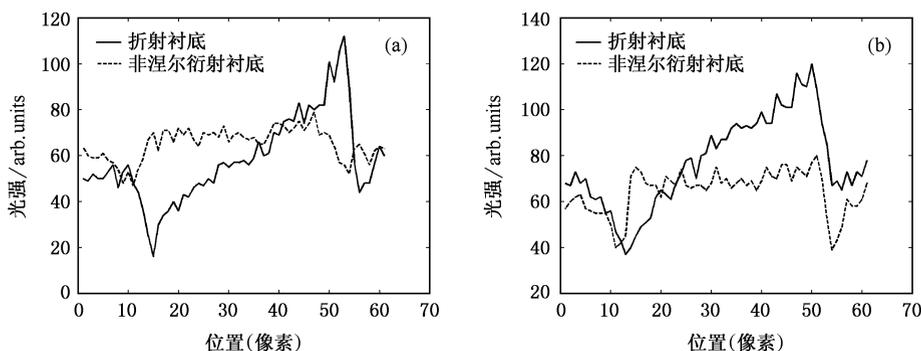


图 7 折射衬度与菲涅耳衍射衬度的比较 (a)晶体转轴平行于轨道面方式 (b)晶体转轴垂直于轨道面方式

此外,将两种晶体排列方式下的折射衬度和菲涅耳衍射衬度分别进行比较。由于腰位成像中的折射衬度中还混杂着吸收和消光衬度,因此我们将(1b)式算法重建所得的折射像作比较。为了便于比较,均选取沿 a 孔横截面的折射衬度。图 8(a)为两种晶体排列方式折射衬度的比较结果,从图中可看出晶体转轴平行于轨道面方式获得的折射衬度好于晶体转轴垂直于轨道面方式,这是因为光源在垂直方

向的尺寸小于水平方向的尺寸,当晶体转轴平行于轨道面时折射衬度是延垂直方向,而当晶体转轴垂直于轨道面时折射衬度是延水平方向的。图 8(b)为两种晶体排列方式菲涅耳衍射衬度的比较结果,从图中可见晶体转轴垂直于轨道面方式获得的菲涅耳衍射衬度好于晶体转轴平行于轨道面方式,其原因和折射衬度是一致的。

对于 BSRF4W1A 束线,垂直方向的空间分辨率

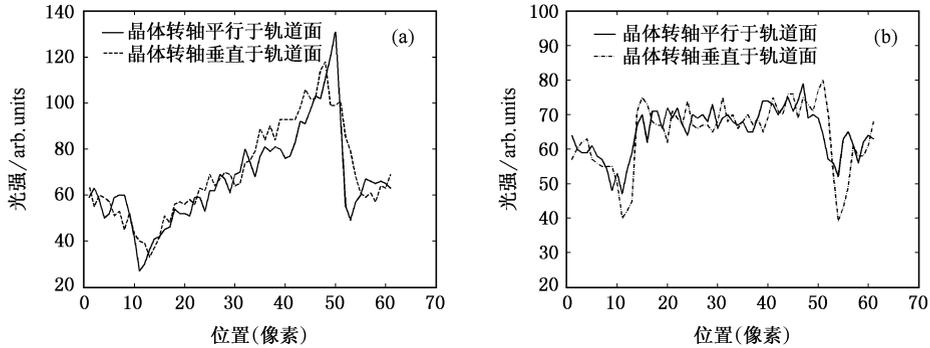


图 8 (a)两种晶体排列方式折射衬度的比较 (b)两种晶体排列方式菲涅耳衍射衬度的比较

高于水平方向的空间分辨率.当晶体转轴平行于轨道面时,在水平方向角分辨率为零,空间分辨率较低,在垂直方向角分辨率和空间分辨率都较高.当晶体转轴垂直于轨道面时,在水平方向角分辨率高,空间分辨率较低,而在垂直方向空间分辨率较高,角分辨率为零.因此,晶体转轴垂直于轨道面的排列方式,在水平方向以高角度分辨弥补低空间分辨,而在垂直方向则以高空间分辨弥补零角度分辨,使水平和垂直两个方向的综合成像质量得到提高.

3.5. 成像机理

从以上讨论可知在衍射增强成像过程中,晶体只在子午面内具有角分辨能力,而在弧矢面内没有角分辨能力.因此,在衍射增强成像过程中,衍射增强成像机制只是发生在晶体的子午面内,而在晶体的弧矢面内,成像机制是菲涅耳衍射.表 1 将两种晶体排列方式的成像机理、空间分辨率和角分辨率进行比较.

表 1 两种晶体排列方式的成像机理、空间分辨率和角分辨率比较

成像	成像机理		空间分辨率		角分辨率	
	竖直方向	水平方向	竖直方向	水平方向	竖直方向	水平方向
晶体转轴平行于轨道面	衍射增强	菲涅耳衍射	高	低	高	0
晶体转轴垂直于轨道面	菲涅耳衍射	衍射增强	高	低	0	高

4. 结 论

本文从 X 光强度分布、空间分辨率、角分辨率等方面对衍射增强成像中两种晶体排列方式作了系统的比较.理论和实验结果表明,晶体转轴垂直于轨道面方式单色器晶体上的热膨胀对成像的影响较

小,因而获得了更好的成像质量.此外,结合空间分辨率和角分辨率,晶体转轴垂直于轨道面方式的综合成像质量好于晶体转轴平行于轨道面方式.近两年来在北京同步辐射装置形貌站开展的衍射增强成像和 CT 研究,基本上都采用晶体转轴垂直于轨道面这种晶体排列方式,获得了一系列的成果^[16].

- [1] Fitzgerald R 2000 *Physics Today* **53** 23
- [2] Davis T J , Gao D 1995 *Nature* **373** 595
- [3] Huang W X , Tian Y L 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1040 (in Chinese) [黄万霞、田玉莲 2002 物理学报 **51** 1040]
- [4] Tian Y L , Xiao T Q , Zhu P P , Huang W X 2004 *Nucl. Tech.* **27** 417 (in Chinese) [田玉莲、肖体乔、朱佩平、黄万霞 2004 核技术 **27** 417]
- [5] Yuan Q X , Tian Y L , Zhu P P , Huang W X 2004 *Nucl. Tech.* **27** 725 (in Chinese) [袁清习、田玉莲、朱佩平、黄万霞 2004 核技术 **27** 725]
- [6] Zhu P P , Wang J Y , Yuan Q X , Tian Y L , Huang W X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 58 (in Chinese) [朱佩平、王越、袁清习、田玉莲、黄万霞 2005 物理学报 **54** 58]
- [7] Huang W X , Yuan Q X , Tian Y L , Zhu P P 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 677 (in Chinese) [黄万霞、袁清习、田玉莲、朱佩平 2005 物理学报 **54** 677]

- [8] Zhu P P , Yuan Q X , Huang W X , Wang J Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1089 (in Chinese) 朱佩平、袁清习、黄万霞、王越 2006 物理学报 **55** 1089]
- [9] Chapman D , Thomlinson W 1997 *Phys. Med. Biol.* **42** 2015
- [10] Zhong Z 2000 *Necl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **450** 556
- [11] Kiss M Z 2003 *Phys. Med. Biol.* **48** 325
- [12] Oltulu O 2003 *J. Phys. D :Appl. Phys.* **36** 2152
- [13] Alexander Wu Chao , Maury Tigner , 1999 *Handbook of Accelerator Physics and Engineering*(World Scientific)
- [14] <http://www.ansys.com>
- [15] James R W , 1982 *The Optical Principles of the Diffraction of X-rays* (Ox Bow Press)
- [16] Kang H 1996 *Reflex Optic*(Tianjing : Nankai University Press)(in Chinese) 康辉 1996 映象光学 (天津 南开大学出版社)]
- [17] Shu H , Zhu P P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1099 (in Chinese) 舒航、朱佩平 2006 物理学报 **55** 1099]

Comparison between two geometrical arrangements for diffraction enhanced imaging^{*}

Huang Wan-Xia Zhu Pei-Ping Yuan Qing-Xi Wang Jun-Yue Shu Hang Hu Tian-Dou Wu Zi-Yu
(Beijing Synchrotron Radiation Facility , Institute of High Energy Physics , Chinese Academy of Sciences Beijing 100049 , China)

(Received 31 December 2005 ; revised manuscript received 7 February 2006)

Abstract

Diffraction enhanced imaging (DEI) with two crystals has been recently performed at the 4W1A beamline at the Beijing Synchrotron Radiation Facility (BSRF). In the first experiments , images collected with a set up where the rotation axis of the crystal was perpendicular to the orbit , show a higher quality with respect to those taken with a geometry with the rotation axis of the monochromatic crystal parallel to the orbit . When the rotation axis of the crystal is perpendicular to the orbit plane , e. g. to the polarization plane of the synchrotron radiation , the influence of both vibration and thermal expansion of the first crystal can be significantly reduced , allowing the collection of better images . In this work , a systematic comparison is made between two geometrical arrangements of crystals in DEI framework with respect to the reflectivity of crystals , spacial resolution , angular resolution and image contrast .

Keywords : synchrotron radiation , diffraction enhanced imaging , crystal diffraction

PACC : 2920L , 6114F , 8170J

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10504033 , 10490194) and the Knowledge Innovation Fund of IHEP (0454562U12).

[†] E-mail : huangwx@ihep.ac.cn zhupp@ihep.ac.cn