

X射线光栅微分相衬成像视场分析

杜杨 刘鑫 雷耀虎 黄建衡 赵志刚 林丹樱 郭金川 李冀 牛憨笨

Quantitative analysis of the field of view for X-ray differential phase contrast imaging

Du Yang Liu Xin Lei Yao-Hu Huang Jian-Heng Zhao Zhi-Gang Lin Dan-Ying Guo Jin-Chuan Li Ji Niu Han-Ben

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 65, 058701 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.058701

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.058701>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I5>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于对数解调的递变能量CT成像方法

[CT imaging method with varying energy based on logarithm demodulation](#)

物理学报.2015, 64(13): 138701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.138701>

一种基于Radon逆变换的半覆盖螺旋锥束CT重建算法

[A half-covered helical cone-beam reconstruction algorithm based on the Radon inversion transformation](#)

物理学报.2015, 64(5): 058704 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.058704>

递变能量X射线高动态融合图像的灰度表征算法研究

[Algorithm of high-dynamic fusion image gray characterization based on variable energy](#)

物理学报.2014, 63(20): 208703 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208703>

基于稀疏优化的计算机断层成像图像不完全角度重建综述

[Review of sparse optimization-based computed tomography image reconstruction from few-view projections](#)

物理学报.2014, 63(20): 208702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208702>

硬X射线微分相衬成像的噪声特性分析

[Noise analysis of hard X-ray differential phasecontrast imaging](#)

物理学报.2014, 63(16): 168702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.168702>

X射线光栅微分相衬成像视场分析*

杜杨 刘鑫 雷耀虎 黄建衡 赵志刚 林丹樱 郭金川
李冀† 牛憨笨

(深圳大学光电工程学院, 光电子器件与系统(教育部、广东省)重点实验室, 深圳 518060)

(2015年10月10日收到; 2015年11月29日收到修改稿)

X射线光栅微分相衬成像对由轻元素构成的物质的内部探测具有传统吸收成像无法比拟的优势, 尤其在癌症的早期诊断和轻元素材料及器件的无损检测等领域应用潜力巨大. 大视场成像是影响该技术从实验室走向实际应用的重要因素. 针对大视场成像的客观需求, 基于菲涅耳衍射原理和光栅结构特征, 建立了量化物理模型用于分析影响成像视场的因素, 提出了实现大成像视场的有效途径, 为未来大视场光栅微分相衬成像方法的设计和应用提供理论依据.

关键词: X射线成像, 光栅微分相衬成像, 成像视场**PACS:** 87.59.-e, 07.85.Fv, 87.64.mh, 42.30.Rx**DOI:** 10.7498/aps.65.058701

1 引言

自伦琴发现X射线100多年以来, X射线成像技术为推动人类社会的科技进步起着非常重要的作用, 尤其在医疗诊断、生物及材料科学、工业无损检测以及安检领域具有非常广泛的应用. 传统的X射线成像技术根据物体对X射线的吸收差别而成像, 对吸收差别很大的物体具有非常好的图像衬度. 然而, 对轻元素物质而言, 例如生物样品、软组织、早期肿瘤、有机高分子材料、半导体材料及器件以及光纤材料等, 它们对X射线的吸收差异很小, 很难形成清晰的图像衬度. 实际上, X射线透过物体之后的振幅和相位均发生变化, 尤其是轻元素构成的物体, 其相位因子 δ 改变量要比吸收因子 β 改变量大1000倍以上^[1], X射线相衬成像技术利用X射线透过物体之后的相位变化获得图像衬度, 要比传统的吸收成像技术更加灵敏, 可以获得传统吸收成像无法探测的高衬度图像.

几十年来, X射线相衬成像技术已经发展了

多种方法, 主要分为晶体干涉法^[2-4]、衍射增强法^[5,6]、自由传播法^[7,8]和光栅微分相衬法^[9-19], 它们在实验装置和获取相位信息的特征等方面都有所不同. 由于对光源的相干性要求较高, 大部分方法需要在同步辐射源或微焦斑源上实现. 光栅微分相衬法突破了X射线源的限制, 可以在常规X射线管上实现^[11], 被认为是最有潜力走向实际应用的相衬成像方法.

2 X射线微分相衬成像原理

在常规X射线源上实现的光栅微分相衬成像系统主要由三个光栅构成, 系统结构原理如图1所示: S_0 为普通X射线光源; G_0 , G_1 和 G_2 分别为源光栅、相位光栅和分析光栅; 周期分别为 p_0 , p_1 和 p_2 ; 占空比分别为 γ_0 , γ_1 和 γ_2 ; S_0 到 G_0 之间的距离为 z_0 , G_0 , G_1 和 G_2 之间的距离分别为 z_1 和 z_2 .

G_0 把 S_0 分成周期结构线光源, 每个单独线光源满足系统空间相干性要求, 不同线光源之间不具

* 国家自然科学基金(批准号: 11404221, 11074172)、中国博士后面上基金(批准号: 2014M562204)、中国博士后科学基金特别资助(批准号: 2015T80914)、深圳市科创委基础研究项目基金(批准号: JCYJ20150525092941019)、国家自然科学基金科学仪器基础研究专款(批准号: 61227802)和国家重点基础研究项目特别基金(批准号: 2012CB825802)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: lijj@szu.edu.cn

有空间相干性. G_1 相当于分束器, 将 X 射线衍射到多个级次, 当 G_1 的相位值为 π 时, 具有最大的衍射效率, ± 1 级的衍射光能量占 80% 以上^[9]. 根据 Talbot-Lau 效应原理, 在 G_1 后的 Talbot 距离处会形成自成像条纹. 由于自成像条纹周期很小, 不能被 X 射线探测器分辨, 为此, 在自成像位置处放置和 G_1 自成像周期相同的分析光栅来形成大周期可分辨的 moiré 条纹. 当 X 射线透过物体之后, 所产生的相位变化会引起 moiré 条纹畸变, 利用多步相移算法, 便可以从畸变的条纹信息中得到物体的吸收、相衬和散射的多衬度信息^[12]. 探测器获取的每步相移所得光强信息可以表示为

$$I(x, y; x_g) = a_0(x, y) + a_1(x, y) \cos \left[\frac{2\pi}{p_2} x_g + \varphi(x, y) \right], \quad (1)$$

其中, x, y 分别表示探测器的像素坐标; x_g 表示相位光栅或分析光栅的相移位置; a_0, a_1 和 a_2 分别表示探测光强的均值、振幅和相位. $V = a_1/a_0$ 表示条纹对比度. 用上标 s 和 b 分别表示放置物体和没有放置物体的情况. 物体的吸收像 T 、微分相衬像 Θ 和散射像 S_0 分别为

$$T(x, y) = \frac{a_0^s(x, y)}{a_0^b(x, y)}, \quad (2)$$

$$\Theta(x, y) = \frac{p_2}{2\pi z_2} [\varphi^s(x, y) - \varphi^b(x, y)], \quad (3)$$

$$S_0(x, y) = \frac{a_1^s(x, y)a_0^b(x, y)}{a_0^s(x, y)a_1^b(x, y)}. \quad (4)$$

在光栅微分相衬成像方法中, 物体信息需要从 moiré 条纹中提取, 因此条纹对比度是衡量系统特性的重要指标^[20-22]. 条纹对比度可以表示为

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (5)$$

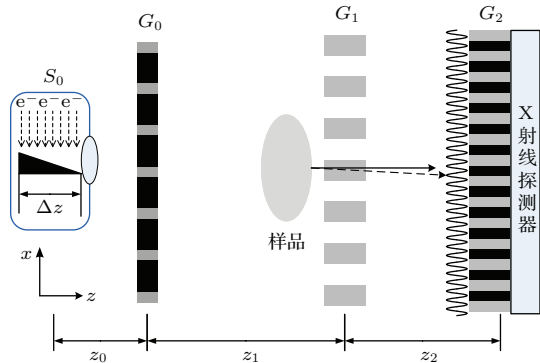


图1 X射线光栅微分相衬成像系统原理
Fig. 1. The principle of grating-based X-ray differential phase contrast imaging.

相衬成像系统的探测灵敏度与条纹对比度是正比关系, 如果条纹对比度降低, 成像系统的探测灵敏度会大大降低, 最终导致无法恢复物体的相位和散射信息.

近年来, 光栅微分相衬成像在方法原理、图像恢复和 CT 算法以及成像实验方面取得了重要进展. 但由于光栅器件工艺及其他因素限制, 成像视场大小仅限于 5 英寸以内^[16-19,23,24], 无法满足实际应用领域的大视场成像需求. 因此, 研究大成像视场对该技术从实验室走向实际应用具有重要意义. 然而, 目前仍没有普适的量化模型来分析实现大视场光栅微分相衬成像方法的可行性及影响因素. 本文从系统成像原理出发, 基于菲涅耳衍射原理, 针对光栅的结构特征, 建立了相衬成像视场量化分析模型, 并提出了实现大视场光栅微分相衬成像的可行性方案, 为实现大视场光栅微分相衬成像的方案设计提供理论依据.

3 成像视场分析

3.1 光栅传递函数

源光栅的实质是振幅光栅, 主要由 X 射线弱吸收材料和强吸收材料构成 (例如硅和金) 其结构原理如图 2 所示.

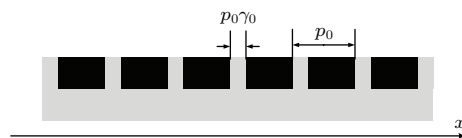


图2 源光栅结构原理图

Fig. 2. The principle of source grating.

源光栅的周期为 p_0 , 占空比为 γ_0 , $p_0\gamma_0$ 表示光栅开口大小, 即 X 射线透过部分. 在理想振幅光栅情况下, 其单周期的传递函数表达式为

$$t_0(x) = \begin{cases} 1, & [-p_0\gamma_0/2, p_0\gamma_0/2], \\ 0, & [-p_0/2, -p_0\gamma_0/2) \\ & \cup (p_0\gamma_0/2, p_0/2]. \end{cases} \quad (6)$$

源光栅的傅里叶级数展开表达式为

$$t_0(x) = \sum_n a_n \exp(inq_0x), \quad q_0 = \frac{2\pi}{p_0}, \quad (7)$$

其中 a_n 和 q_0 分别表示源光栅的傅里叶系数和空间频率. 由 (6) 和 (7) 式可得:

$$\begin{aligned} a_n &= \gamma_0 \sin c(n\gamma_0), \\ n &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \quad (8)$$

相位光栅依据 X 射线透过弱吸收材料不同深度后的相位变化来设计^[25], 例如对于硅材料相位光栅, 当 X 射线的中心能量为 30 keV 时, 光栅深度为 40 μm . 其结构原理如图 3 所示.

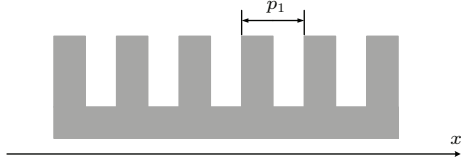


图 3 相位光栅结构原理图

Fig. 3. The principle of phase grating.

相位光栅的占空比 γ_1 为 0.5, 令相位光栅的透射率函数为 $t_1(x)$, 其单周期的表达式为

$$t_1(x) = \begin{cases} \exp(i\varphi), & x \in [-p_1/4, p_1/4], \\ 1, & x \in (-p_1/2, -p_1/4) \cup (p_1/4, p_1/2). \end{cases} \quad (9)$$

相位光栅的傅里叶级数展开表达式为

$$\begin{aligned} t_1(x) &= \sum_m b_m \exp(imq_1x), \\ q_1 &= \frac{2\pi}{p_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

其中 b_m 和 q_1 分别表示相位光栅的傅里叶系数和空间频率. 由 (9) 和 (10) 式可得:

$$\begin{aligned} b_0(\lambda) &= i \cos(\varphi/2), \\ b_m(\lambda) &= \sin(\varphi/2) \sin c(m/2), \\ m &= \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \quad (11)$$

3.2 基于菲涅耳衍射原理的量化分析模型

如图 1 所示, X 射线源由高速电子轰击 X 射线管的阳极靶面上产生, 所产生的 X 射线源为锥束, 由靶面上任意一点产生的 X 射线传播到 G_0 前表面上的光场分布为球面波, 考虑到阳极靶面在光轴方向 z_0 的扩展分布 Δz , G_0 前表面光场的空间分布为

$$\varphi(x, x_i) = \exp\left[ik \frac{(x - x_i)^2}{2z_0}\right], \quad (12)$$

其中, $k = 2\pi/\lambda$ 表示波矢, x 为垂直于光栅刻线方向的空间坐标, x_i 为阳极靶面上沿 x 坐标方向任意一点空间坐标, z_i 为阳极靶面沿光轴方向的空间坐标, x_i 和 z_i 满足如下关系式:

$$x_i = z_i \tan \theta, \quad (13)$$

θ 为阳极靶面和光轴的水平方向夹角. X 射线透过 G_0 后的光场分布可以表示为

$$f_1(x, x_i) = t_0(x)\varphi(x - x_i). \quad (14)$$

对 (14) 式进行傅里叶变换可得:

$$\begin{aligned} F_1(k_x, x_i) &= \text{FT}[f_1(x, x_i)] \\ &= \sum_n a_n \exp[-i(k_x - nq_0)x_i] \\ &\quad \times \Phi(k_x - nq_0). \end{aligned} \quad (15)$$

透过 G_0 之后的 X 射线传播到相位光栅前表面, 根据菲涅耳衍射原理, 其光场分布为

$$f_2(x, x_i) = \text{FT}^{-1}\{\text{FT}[f_1(x, x_i)]H(k_x, z_1)\}, \quad (16)$$

其中,

$$H(k_x, z_1) = \exp(ikz_1) \exp\left(-ik_x^2 \frac{z_1}{2k}\right). \quad (17)$$

$H(k_x, z_1)$ 表示空间频域传递函数. 透过相位光栅之后的光场空间分布为

$$f_3(x, x_i) = f_2(x, x_i) \cdot t_1(x). \quad (18)$$

对 (18) 式进行傅里叶变换得

$$\begin{aligned} F_3(k_x, x_i) &= \exp(ikz_1) \sum_n \sum_m a_n b_m \\ &\quad \times \exp[-i(k_x - nq_0 - mq_1)x_i] \\ &\quad \times \Phi(k_x - nq_0 - mq_1) \\ &\quad \times \exp\left[-i \frac{(k_x - mq_1)^2}{2k} z_1\right]. \end{aligned} \quad (19)$$

根据菲涅耳衍射原理, 透过 G_1 的 X 射线传播到 G_2 的光场分布为

$$f_4(x, x_i) = \text{FT}^{-1}\{\text{FT}[f_3(x, x_i)]H(k_x, z_2)\}, \quad (20)$$

其中 $H(k_x, z_2)$ 为 G_1 到 G_2 的空间频域传递函数. 由阳极靶面任意一点产生的 X 射线经过 G_1 和 G_2 传播到探测面的光强分布为

$$I_i(x, x_i) = f_4(x, x_i) f_4^*(x, x_i). \quad (21)$$

由于普通X射线管产生的X射线源为多色非相干光源,因此,探测面的光强空间分布可以表示为如下积分形式:

$$I(x) = \iint f(\lambda) I_i(x, x_i) d\lambda dx_i, \quad (22)$$

其中 $f(\lambda)$ 为X射线源的光谱分布权重因子.

3.3 光栅结构对成像视场的影响

常规X射线管产生的X射线为锥束非相干源,当成像视场变大时,系统中的平面光栅结构会限制成像视场^[26].其原理如图4所示,光栅结构的深宽比为

$$AR = \frac{h}{p\gamma}, \quad (23)$$

其中 h 表示光栅深度, p 表示光栅周期, $p\gamma$ 表示光栅的开口大小.随着X射线的倾斜角接近 $\arctan(p/AR)$,光栅的传递功能下降,例如当X射线的倾斜角 $\alpha = \arctan(p/AR) \approx p/AR$,相位光栅将失去相位调制功能.同理,对于吸收光栅而言,其传递功能也会因此下降而导致探测的条纹对比度下降,使相衬和暗场信息失真,从而限制成像视场.随着X射线能量的增大,吸收光栅的深度进一步增大,导致这种效应愈加明显.假设X射线的最大倾斜角为 $\alpha_{\max} = p/AR$,X射线源到样品的距离为 l ,则成像视场大小FOV的估计值为

$$FOV = 2l \frac{p}{AR}. \quad (24)$$

以所实现系统的实验系统参数为例^[18],X射线源到物体的距离 $l = 1500$ mm,光栅周期为 $p = 3$ μm ,光栅深度为 $h = 150$ μm ,占空比 $\gamma = 0.5$,估算出 $AR = 100$, $FOV = 88$ mm. α_{\max} 为X射线倾斜角的极限值,实际应用中的成像视场要小于(24)式给出的估计值.由(24)式可知,如果要实现更大的成像视场(例如8英寸),平面光栅无法满足要求.此时,需要采用和X射线波前分布相匹配的柱面光栅.

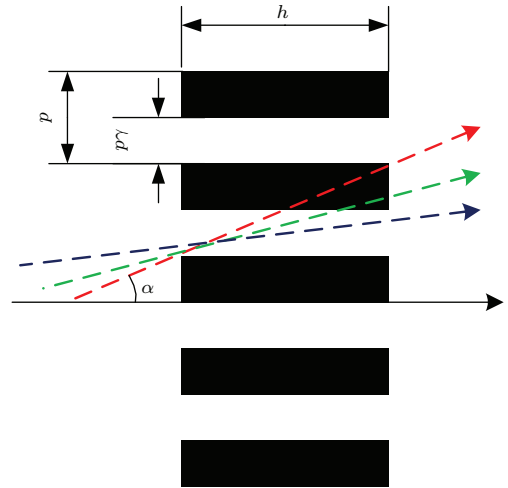


图4 平面光栅限制成像视场示意图

Fig. 4. The principle of plane grating limiting field of view.

4 数值计算结果

为了验证大视场光栅为微分相衬成像的可行性,采用已建立的X射线光栅微分相衬成像系统的实验参数进行模拟计算,如表1所列.实验参数1、参数2和参数3所对应光栅结构的最大深宽比 AR_{\max} 分别为24, 26和100,由(24)式估计的极限成像视场分别为267, 215和88 mm.随着X射线能量的增大,对吸收光栅的深宽比要求越来越高,尤其是参数3所对应的光栅深宽比达到100.为了实现更大的成像视场,需采用和X射线波前匹配的柱面光栅.在此条件下根据已建立的量化模型进一步分析,以8英寸视场内的条纹对比度分布情况作为判断相衬成像视场的大小,由(5)和(22)式所计算的探测面的对比度分布如图5所示,在8英寸成像视场内的干涉条纹对比度分布均匀并且在0.6以上,由于X射线管的阳极靶面在光轴方向上的延展分布,引起条纹对比度在小范围内有一定的波动,但不影响相衬成像视场.因此,在光栅结构与X射线波前形貌匹配的条件下,实现大视场X射线微分相衬成像系统具有可行性.

表1 硬X射线光栅微分相衬成像系统的实验参数^[16-18]

Table 1. The experimental parameters of grating-based hard X-ray differential phase contrast imaging^[16-18].

实验参数	S_0	$p_0/\mu\text{m}$	$p_1/\mu\text{m}$	z_0/mm	z_1/mm	z_2/mm
参数1	35 kV/30 mA/钨靶	73	3.89	100	1600	44
参数2	40 kV/25 mA/钨靶	14	3.5	100	1400	200
参数3	60 kV/2 mA/钨靶	42	5.6	100	147	105

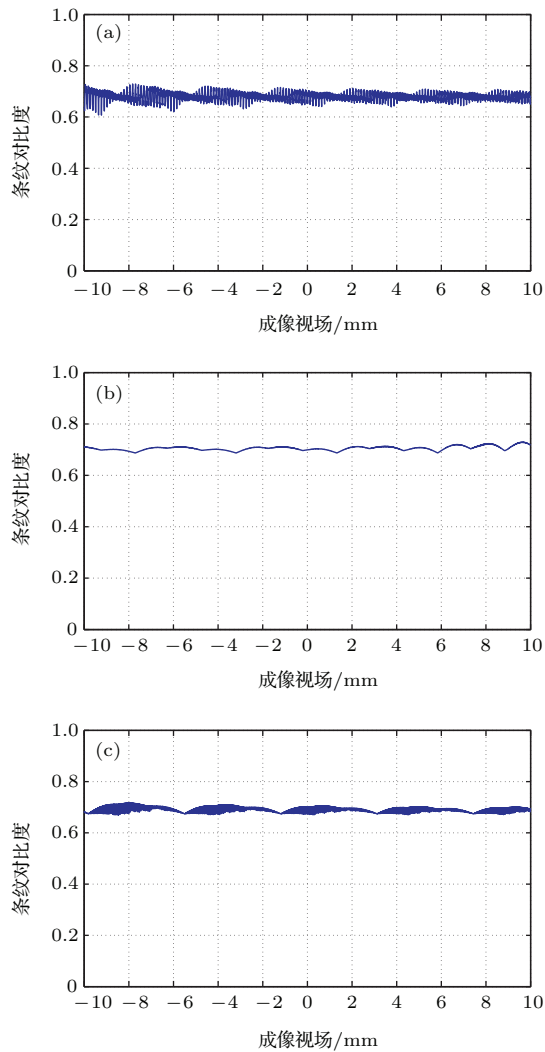


图5 X射线光栅微分相衬成像系统成像视场内的条纹对比度分布 视场大小为8英寸, (a), (b)和(c)分别对应表1中参数1、参数2和参数3的模拟结果

Fig. 5. The fringe distribution of grating-based X-ray differential phase contrast imaging in the field of 8 inches, and the Fig. 5(a), 5(b) and 5(c) corresponds to the simulation results of par 1, par 2 and par 3 in Table 1 respectively.

5 结 论

X射线光栅微分相衬成像可以使用常规X射线源上获得物体的吸收、相衬和散射的全面内部信息,对癌症的早期诊断以及轻元素材料的内部检测具有重要的应用价值.实现大视场相衬成像是该技术从普通实验室走向实际应用亟需解决的重要课题.本文基于菲涅耳原理建立了X射线光栅微分相衬成像视场分析的量化模型,结合系统光栅结构,详细论证了实现大视场成像的可行性,分别计算了不同参数的成像系统在8英寸成像视场内条纹对比

度的分布情况.在基于阵列结构阳极X射线源的光栅微分相衬成像方法中^[27],阵列结构阳极靶面的轴向扩展长度会限制相衬成像视场,而常规X射线源阳极靶面的轴向扩展长度 Δz_i 会对成像视场内的条纹对比度产生微小的扰动,但不影响相衬成像视场.当X射线能量较大时,光栅的深宽比较高,平面光栅结构对X射线的传递功能受到影响,从而限制相衬成像视场,需要进一步结合蒙特卡罗模拟方法或射线追踪的方法更全面地分析相衬成像视场,进而采用和X射线波前分布一致的柱面光栅实现大视场成像.本文所建立的光栅微分相衬成像视场分析模型,可为实现大视场光栅微分相衬成像方法提供重要的理论依据和设计参考.

参考文献

- [1] Momose A, Fukuda J 1995 *Med. Phys.* **22** 375
- [2] Bonse U, Hart M 1965 *Appl. Phys. Lett.* **6** 155
- [3] Hosoya S, Ando M 1971 *Phys. Rev. Lett.* **26** 321
- [4] Momose A, Takeda T, Itai Y, Hirano K 1996 *Nat. Med.* **2** 473
- [5] Davis T J, Gao D C, Gureyev T E, Stevenson A W, Wilkins S W 1995 *Nat.* **373** 595
- [6] Chapman D, Thomlinson W, Johnston R E, Washburn D, Pisano E, Gmür N, Zhong Z, Menk R, Arfelli F, Sayers D 1997 *Phys. Med. Biol.* **42** 2015
- [7] Ingal I V, Beliaevskaya E A 1995 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **28** 2314
- [8] Wilkins S W, Gureyev T E, Gao D C, Pogany A, Stevenson A W 1996 *Nat. Lett.* **384** 335
- [9] David C, Nöhammer B, Solak H H, Ziegler E 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 3287
- [10] Momose A, Kawamoto S, Koyama I, Hamaishi Y, Takai K, Suzuki Y 2003 *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** L866
- [11] Pfeiffer F, Weitkamp T, Bunk O, David C 2006 *Nat. Phys.* **2** 258
- [12] Pfeiffer F, Bech M, Bunk O, Kraft P, Eikenberry E F, Brönnimann C, Grünzweig C, David C 2008 *Nat. Mat.* **7** 134
- [13] Du Y, Liu X, Huang J H, Lei Y H, Zhao Z G, Lin D Y, Guo J C, Li J, Niu H B 2015 *Opt. Express* **19** 12712
- [14] Zhu P P, Zhang K, Wang Z L, Liu Y J, Liu X S, Wu Z Y, McDonald S A, Marone F, Stampanoni M 2010 *Proc. Natl. Acad. Sci.* **107** 13576
- [15] Du Y, Lei Y H, Liu X, Guo J C, Niu H B 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 068702 (in Chinese) [杜杨, 雷耀虎, 刘鑫, 郭金川, 牛慈笨 2013 物理学报 **62** 068702]
- [16] Kottler C, Pfeiffer F, Bunk O, Grunzweig C, Bruder J, Kaufmann R, Tlustos L, Walt H, Briod I, Weitkamp T, David C 2007 *Phys. Status. Solidi. A* **204** 2728
- [17] Donath T, Pfeiffer F, Bunk O, Grunzweig C, Hempel E, Popescu S, Vock P, David C 2010 *Invest. Radiol.* **45** 445

- [18] Du Y, Liu X, Lei Y H, Guo J C, Niu H B 2011 *Opt. Express* **19** 22669
- [19] Momose A, Yashiro W, Kido K, Kiyohara J, Makifuchi C, Ito T, Nagatsuka S, Honda C, Noda D, Hattori T, Endo T, Nagashima M, Tanaka J 2014 *Phil. Trans. R. Soc. A* **372** 20130023
- [20] Revol V, Kottler C, Kaufmann R, Straumann U, Urban C 2010 *Rev. Sci. Instrum.* **81** 073709
- [21] Modregger P, Pinzer B R, Thüring T, Rutishauser S, David C, Stampanoni M 2011 *Opt. Express* **19** 18324
- [22] Huang J H, Du Y, Lei Y H, Liu X, Guo J C, Niu H B 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 168702 (in Chinese) [黄建衡, 杜杨, 雷耀虎, 刘鑫, 郭金川, 牛憨笨 2014 物理学报 **63** 168702]
- [23] Noda D, Tsujii H, Takahashi N, Hattori T 2009 *J. Electrochem. Soc.* **156** H299
- [24] David C, Bruder J, Rohbeck T, Grünzweig C, Kottler C, Diaz A, Bunk O, Pfeiffer F 2007 *Microelectron. Eng.* **84** 1172
- [25] Liu X, Lei Y H, Zhao Z G, Guo J C, Niu H B 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6927 (in Chinese) [刘鑫, 雷耀虎, 赵志刚, 郭金川, 牛憨笨 2010 物理学报 **59** 6927]
- [26] Thüering T, Modregger P, Grund T, Kenntner J, David C, Stampanoni M 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 041111
- [27] Du Y, Huang J H, Lin D Y, Niu H B 2012 *Anal. Bioanal. Chem.* **404** 793

Quantitative analysis of the field of view for X-ray differential phase contrast imaging*

Du Yang Liu Xin Lei Yao-Hu Huang Jian-Heng Zhao Zhi-Gang Lin Dan-Ying
Guo Jin-Chuan Li Ji[†] Niu Han-Ben

(Key Laboratory of Optoelectronic Devices and Systems of Ministry of Education and Guangdong Province, College of Optoelectronic Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

(Received 10 October 2015; revised manuscript received 29 November 2015)

Abstract

Grating-based X-ray differential phase contrast imaging provides excellent image contrast for low-Z objects that cannot be acquired by conventional X-ray imaging, which has great potential applications in the early diagnosis of cancer and non-destructive detections of low-Z materials and devices. Large field of view imaging is a crucial factor for this technology from the laboratory to practical application. For the objective need of large field of view, on the basis of the Fresnel diffraction theory and the structure characteristics of gratings, we establish a quantitative physical model to analyze the factors that affect the imaging field of view and give a feasible way for large imaging field of view. This work provides a theoretical basis for the large field of view grating-based X-ray differential phase contrast imaging in the future.

Keywords: X-ray imaging, X-ray differential phase contrast imaging, field of view

PACS: 87.59.-e, 07.85.Fv, 87.64.mh, 42.30.Rx

DOI: 10.7498/aps.65.058701

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11404221, 11074172), the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2014M562204), the Special Fund for China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2015T80914), the Science and Technology Innovation Commission of Shenzhen, China (Grant No. JCYJ20150525092941019), the Special Fund for Basic Research on Scientific Instruments of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61227802), and the National Key Basic Research Special Foundation of China (NKBRF) (Grant No. 2012CB825802).

[†] Corresponding author. E-mail: liji@szu.edu.cn