



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03151083.3

[43] 公开日 2004年9月8日

[11] 公开号 CN 1527048A

[22] 申请日 2003.9.19 [21] 申请号 03151083.3

[71] 申请人 中国科学院上海光学精密机械研究所  
地址 201800 上海市 800-211 邮政信箱

[72] 发明人 高鸿奕 陈建文 谢红兰 李儒新  
徐至展

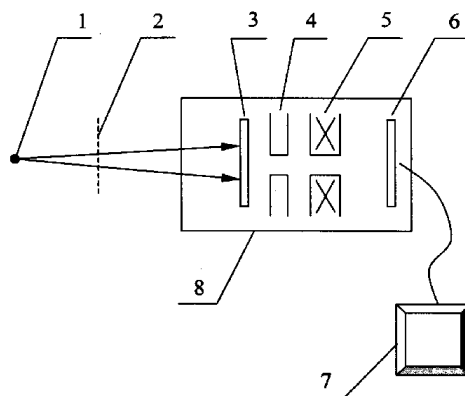
[74] 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司  
代理人 张泽纯

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

[54] 发明名称 X 射线诱导光电子相衬成像装置

[57] 摘要

一种 X 射线诱导光电子相衬成像装置，它包含 X 射线源，其特征在于沿 X 射线前进方向依次是待测样品、光电子转换器、加速阳极、电磁放大透镜组、CCD，该 CCD 的输出连计算机，光电子转换器位于待测样品之后，与待测样品的距离  $Z_2$  为： $Z_2 = 0.49Z_1 / (\lambda U^2 Z_1 - 0.49)$  式中： $\lambda$  - X 射线波长， $U$  - 物体空间频率， $Z_1$  - 待测样品和 X 射线源的距离。所述的光电子转换器、加速阳极、电磁放大透镜组和 CCD 都装在一真空系统之内。本发明既具有硬 X 射线高穿透性能，又兼备了光电子能有效放大的特性，可实时地、快速地观察自然活体状态下生物体、各种材料的位相分布。



1、一种 X 射线诱导光电子相衬成像装置，它包含 X 射线源 (1)，其特征在于沿 x 射线前进方向依次是待测样品 (2)、光电子转换器 (3)、加速阳极 (4)、电磁放大透镜组 (5)、CCD (6)，该 CCD (6) 的输出连计算机 (7)，而光电子转换器 (3) 位于待测样品 (2) 之后，与待测样品 (2) 的距离  $Z_2$  为：

$$Z_2 = \frac{0.49Z_1}{\lambda U^2 Z_1 - 0.49}$$

式中： $\lambda$ —X 射线波长，

U—物体空间频率，

$Z_1$ —待测样品 (2) 和 X 射线源 (1) 的距离。

2、根据权利要求 1 所述的 X 射线诱导光电子相衬成像装置，其特征在于所述的光电子转换器 (3)、加速阳极 (4)、电磁放大透镜组 (5) 和 CCD (6) 都装在一真空系统 (8) 之内。

3、根据权利要求 1 所述的 X 射线诱导光电子相衬成像装置，其特征在于所述的 X 射线源 (1) 是一台微聚焦的 X 射线管或者是一个同步辐射源。

4、根据权利要求 1 所述的 X 射线诱导光电子相衬成像装置，其特征在于所述的待测样品 (2) 是安放在一具有上下、前后调节功能的样品平台上的。

5、根据权利要求 1 所述的 X 射线诱导光电子相衬成像装置，其特征在于所述的光电子转换器 (3) 能将硬 X 射线转换成电子，例如光阴极。

## X 射线诱导光电子相衬成像装置

### 技术领域：

本发明是关于 X 射线相衬成像装置，特别是涉及一种 X 射线诱导光电子相衬成像装置。

### 背景技术：

X 射线用于成像已有 100 年的历史，已成为医学、生物学及材料科学中不可缺少的诊断工具。早期的 X 射线成像技术，是根据样品的密度分布差异、组成以及厚度的不同，来获得像的衬度。但在硬 X 射线范围，诸如生物体软组织、聚合物及碳纤维等以轻元素为主的物体吸收极小，产生的对比度也很小。对于这类弱吸收物体，硬 X 射线的位相移动却很大。近年来，随着高亮度同步辐射光源及 X 射线激光的迅猛发展，位相衬度成像已经成为国际上成像领域的一个研究热点，在医学诊断、生物和材料研究等领域有显著的优越性，极具推广应用的潜力。

当 X 射线穿透物质时，它的位相变化给出了产生位相衬度的可能性。目前世界上几个研究小组探讨新的 X 射线成像方法，主要可分为三类：干涉法、衍射法及类同轴全息成像法分别对  $\varphi$ 、 $\nabla\varphi$  和  $\nabla^2\varphi$  进行测量。其中，Wilkins 等人给出的一种非常简单的、基于菲涅尔衍射的 X 射线相位成像方法特别引人注目，它实质上就是 X 射线同轴盖柏全息的记录，亦称之为 X 射线相位直接成像（参见在先技术：S.W.Wilkins, T.E.Gureyev, D.Gao et al., Nature, 1996,384,335-338）。

我们知道，当光波通过物体时，要产生散射和吸收，在离样品适当距离将获得清晰的样品吸收衬度像，这是常规显微和层析的成像基础。

从 X 射线光学，我们已经知道：X 射线的折射率  $n_x=1-\delta$ ， $\delta=r_0\lambda^2N_a f/2\pi$ ，式中， $\lambda$  为 X 射线波长， $r_0$  为经典电子半径， $N_a$  为单位体积内原子数密度， $f$  为原子散射因子。尽管  $1-\delta$  和 1 的差值只有  $10^{-5}$ ，但当使用非常小的  $\lambda$  值时，即使是不太大的厚度或密度的变化，也可能产生相当大的位相畸变。如果采用相干光或部分相干光通过物体时，除了吸收以外，还要产生位相变化，即发生波前的畸变。这种波面畸变导致部分波面的传播方向发生变化，使波面重叠而形成干涉，这样，位相变化转化成强度变化，这是相衬成像的物理基础，也是相衬层析的物理基础，更为重要的是，这种图像不经任何重构技术，可直接获得位相变化图像。

在标量近似的前提下，对样品的光学复传递函数  $F$  有

$$w(x,y)=F(x,y)w(x,y) \quad (1)$$

其中,  $w$  和  $w_0$  分别表示通过薄样品前后在物平面上点  $(x, y)$  处的单色场。包含有折射率实部和虚部的传递函数  $F$  可表示为

$$F(x, y) = M(x, y)e^{i\varphi(x, y)} \quad (2)$$

其中,  $M$  代表吸收, 而  $\varphi$  表示相位变化

$$M(x, y) = \exp\left(-\frac{1}{2} \int \mu(x, y, z) dz\right) \quad (3)$$

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \int (n(x, y, z) - 1) dz \quad (4)$$

$\mu$  为线性吸收系数, 且  $n$  为折射率的实部。上两式中的积分路径均沿光束的传播方向  $z$ 。

通常折射率与 1 相差很小 (在  $10^{-5}$  量级)。对于成像过程可以用两种方法分析: 一是将光波穿过样品之后的传播看作球面波, 用菲涅尔—基尔霍夫积分方法分析; 一是将入射光平面波传播穿过样品视为通过一滤波器, 其后的空间传播都采用傅立叶光学的方法分析。

以一维情况下的单色波  $\exp\{-ikz\}$  为例 (不失一般性), 考虑一弱吸收的位相物体, 我们可以得到方程

$$I(x) \approx 1 - \frac{\lambda^2}{2\pi} r_e z \rho''(x)$$

在一个特定的物—像平面距离有

$$I(x) = 1 - 2r_e \lambda \rho_e(x)$$

在傍轴近似条件下, 相位本身出现在光强分布的表达式中, 从上式还可以看到, 波长  $\lambda$  以一个一次因子出现在第二项中, 其对成像的影响很小, 也就是说, 相衬成像对时间相干性的要求不是很高, 这就提供了采用微聚焦 X 射线管进行成像的可能。当然采用单色性好的同步辐射源, 将能获得清晰度较高的图像。

这种硬 X 射线相衬成像分辨率常常受记录介质分辨率的影响, 分辨率为  $10 \mu\text{m}$  的量级。

#### 发明内容:

本发明针对上述在先技术中所存在的缺点, 提出一种新的装置, 即 X 射线诱导光电子相衬成像装置。

当硬 X 射线穿透样品以后, 如果将探测器直接放在样品后面, 记录的是一张基于吸收衬度机制的 X 射线投影图。如果探测器和样品距离满足以下公式时:

$$Z_2 = \frac{0.49Z_1}{\lambda U^2 Z_1 - 0.49}$$

就可以获得物体的位相衬度像，式中： $\lambda$  是 X 射线波长，U 是物体空间频率， $Z_1$  是待测样品和 X 射线源的距离。

特别要指出的是，这种相衬像反映的是物体折射率发生突变的地方。

具体地说，本发明的技术解决方案是：

一种 X 射线诱导光电子相衬成像装置，它包含 X 射线源，其特征在于沿 x 射线前进方向依次是待测样品、光电子转换器、加速阳极、电磁放大透镜组、CCD，该 CCD 的输出连计算机，而光电子转换器位于待测样品之后，与待测样品的距离  $Z_2$  为：

$$Z_2 = \frac{0.49Z_1}{\lambda U^2 Z_1 - 0.49}$$

式中： $\lambda$ —X 射线波长，

U—物体空间频率，

$Z_1$ —待测样品和 X 射线源的距离。

所述的光电子转换器、加速阳极、电磁放大透镜组和 CCD 都装在一真空系统之内。

所述的 X 射线源是一台微聚焦的 X 射线管或者是一个同步辐射源。

所述的待测样品是安放在一具有上下、前后调节功能的样品平台的。

所述的光电子转换器，它能将硬 X 射线转换成电子，例如光阴极。

本发明的 X 射线诱导光电子相衬成像装置，与在先技术相比，它既有硬 X 射线穿透能力很强的优势，又具有光电子能被高倍放大的功能，能高分辨率地观察到样品中折射率突变部分的细节。

#### 附图说明：

图 1 为本发明 X 射线诱导光电子相衬成像装置的结构框图。

#### 具体实施方式

本发明的 X 射线诱导光电子相衬成像装置的结构如图 1 所示。它包含 8 个部分：X 射线源 1，样品台 2，光电子转换器 3，加速阳极 4，电磁放大透镜组 5，CCD6，计算机 7，真空系统 8。

所说的 X 射线源 1 是一台微聚焦的 X 射线管或者是一个同步辐射源。

所说的待测样品 2 放置一样品平台上，该样品平台具有上下、前后调节功能。

所说的光电子转换器 3，它能将硬 X 射线转换成电子，例如光阴极。光阴极的材料通常有三类：(1) 金属类，主要有金、铜、镁、钽等，其特性是阈值功率高，量子效率低，由于大部分入射光能转换成热能，对高重复率运转的光阴极需要冷却；优点是容易制备，使用寿命长，对真空度要求低，一般为  $10^{-5}$ ~ $10^{-6}$ 。(2) 金属化合物及合金，典型的有 LaB<sub>6</sub>，有较高的量子效率，对紫外波段有较高的灵敏度，对真空度要求也低。(3) 半导体光阴极。主要是多碱铯化物材料。如：Cs<sub>3</sub>Sb，CsK<sub>2</sub>Sb 和 GaAs 等。半导体光阴极的量子效率最高，可达 2~8%；阈值功较低，可以获得较高的电流密度。唯一的缺点是寿命短，只有几十个小时。(参见文献：陈建文、欧阳斌、王之江，强激光技术进展，1992 年，第 3 辑，1-5)。

实际中必须根据 X 射线光子的波长、所需光阴极的阈值功及量子效率等各方面的综合性能，从三类材料中作出选择。这里我们选择使用寿命长的金属作光阴极。

所说的加速阳极 4，它能将光电子加速。

所说的电磁放大透镜组 5，它用来将加速电子进行放大。

所说的 CCD6，是用来记录放大的含有物体位相信息的图像。

所说的计算机 7，是用来显示 CCD6 接收到由样品产生的位相衬度的图像。

所说的真空系统 8，是用来给光电子有一个正常运行的环境。

当硬 X 射线 1 和置于样品台上的样品相互作用，并传播到 Z<sub>2</sub> 距离之后，此时的 X 射线强度分布中含有位相信息，即包含的是相衬图像，在这一位置放有光电转换器 3，即相衬图像变成电子相衬图像，由于电子能被加速阳极 4 和电磁放大透镜组 5 放大，并被 CCD6 和计算机 7 接受和显示，图像可以放大到 100 万倍，能观察到很微小的细节。

本发明的硬 X 射线诱导光电子相衬成像装置，既具有硬 X 射线高穿透性能，又兼备了光电子能有效方大的特性，可以实时地、快速地观察自然活体状态下生物体、各种材料的位相分布，特别是折射率发生突变部分，是通常基于吸收机制 X 射线投影成像以及电子显微成像所不能完成的工作，对于人体各种病变以及早期癌症诊断方面将有潜在的巨大的用途！

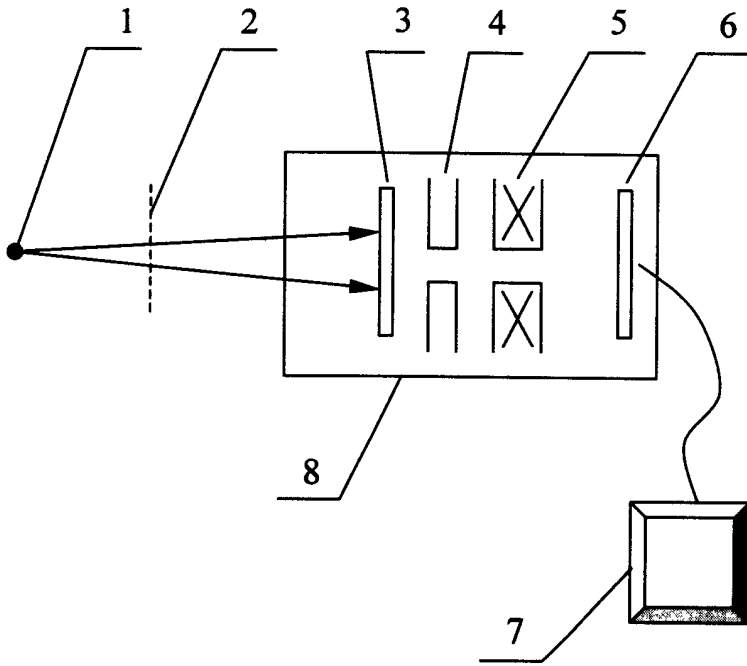


图 1