

成像板探测器

熊慎考

几年前,日本富士胶卷公司的研究人员发展了一种可擦除并可重复使用的X射线成像板。这种成像板是用柔性塑料制成,约0.5mm厚,上面涂有光致激发磷光晶体(BaFBr:Eu^{2+})粉末。这种粉末与某种有机粘合剂掺在一起,较易粘在塑料板上,粉末涂层的典型厚度为150 μm 。当用X射线、紫外光、电子束或质子束照射成像板(光致激发磷光晶体)时,它能从照射中吸收部分能量并贮存起来;再用可见光或红外射线照射,它就会发光,其发光强度与所吸收的射线能量成正比。这种现象通常叫做光致激发发光(PSL)。近来,在X射线衍射和自动照相术实验中,研究人员用这种成像板探测器,对X射线的强度进行了定量测量。实验表明:成像板比普通的X射线胶片效果好得多。在其他X射线探测器(如X射线电视摄像机、固体成像装置及气体电离型面积探测器)中也有着极强的竞争力。

一、成像板发光机制及工作原理

当成像板受X射线或紫外光的照射而吸收射线能量时,一部分 Eu^{2+} (铕)离子被电离成 Eu^{3+} 离子,并把电子释放到磷光晶体的导带上,去填补掺入在磷光晶体中溴(Br)原子的电子空位,形成(氟)F中心的暂时色心。在大剂量的可见光中曝光,会使俘获在F中心的电子返回到磷光晶体的导带上,这个过程又使 Eu^{3+} 离子转化成原来(未受X射线照射之前)的 Eu^{2+} 离子,于是 Eu^{2+} 离子就发射出光来。由于这种光致激发发光的响应时间很短(0.8 μs),利用激光扫描在几十秒钟的时间内可读出400万至600万个成像数据。成像板受激发出的光(波长约为390nm左右)可用普通的高量子效率的光电倍增管(PMT)进行接收,PMT的输出信号经对数放大后,再转换成数字成像信号,最后由计算机进行处理、显示或打印出来。用大剂量可见光照射的方法完全可以抹掉板上残留的成像信息,并重复使用。

二、成像板探测器的优点

与其他成像探测器相比,成像板探测器有几个明显的优点。

(1) 激光读出装置的扫描线间距是每毫米中有5至10个像元,点扩展函数的半高宽(FWHM)是150 $\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$,这使得成像板探测器的分辨率更高。

(2) 与其他积分型探测器如X射线胶片和X射线电视摄像机相比,其动态范围宽广,数值为 $1:10^5$,相对误差小于5%。

(3) 探测量子效率(DQE)高,一般在8—20keV的能量范围优于80%。

(4) 响应均匀性变化小于1.6%(指有效面积)。

(5) 可直接获得成像数据,易于计算机处理。

(6) 适用于X射线、紫外光、电子和质子束。

三、成像板探测器的应用

近年来,X射线衍射领域中的研究人员对成像板探测器发生了很大兴趣,尤其在分子生物学方面的应用更为广泛。1985年,人们在肌肉收缩实验中采用了成像板探测器,其高探测量子效率(DQE)、宽广的动态范围与不受计数率限制的优点结合在一起,使曝光时间大为缩短。利用同步辐射光在几十秒内可得一张清楚的青蛙肌肉收缩实验的X射线衍射图形。这种技术可使科学家了解到肌肉收缩时分子结构变化的情况。

成像板探测器已帮助蛋白质结晶学家用缩短蛋白质在X射线中曝光时间的方法,去获得精确的实验数据,因为曝光时间短可使蛋白质少受辐射的伤害,降低蛋白质晶体的不稳定性。即在蛋白质晶体受到辐射伤害之前,从一块晶体上得到一组完整的数据,而且有很好的信噪比。它还适用于用同步辐射光对蛋白质晶体结构进行分析的劳厄衍射法,获取的数据有足够高的精度。由于具有很高的灵敏度和宽广的动态范围,这种探测器已成功地应用到小角X射线散射,X射线康普顿散射和高温高压X射线实验中。美国康奈尔高能同步辐射光源(CHESS)实验室在实验中广泛使用这种探测器。

在医学计算机X射线照相术中,成像板探测器已取代了普通X射线照片的位置。它不仅能用小得多的辐射剂量去照射病人,而且使X射线数字成像诊断成为现实。它将能建立起一个图形档案和信息交换系统,通过数字成像的传输,把诊断结果在不同的医院之间进行比较。此外,它在生物工程中也日益受到重视。

其次,它还在电子显微术领域工业非破坏性检验以及宇宙线或自然辐射的能量精确测量方面获得应用。

四、成像板探测器在同步辐射实验中的应用

成像板的优点使我们能够大大缩短获得高质量X射线(衍射)图形所需的曝光时间,在使用高通量的同步辐射进行实验时,更是如此。下面简单介绍日本光子工厂设计的两种使用成像板探测器的同步辐射实验装置。

(1) “相片法”实验装置

这种装置由成像板交换机、X射线光闸和控制器所组成。成像板交换机前端部分的原理如图1所示。在X射线曝光窗口前面有样品、X射线光闸(相当于照相机的快门)。当光闸打开时,X射线穿过样品进入交换机的曝光窗口。成像板(126×126mm²)在交换机的曝光窗口一块一块地进行交换,每一块成像板曝光时间为0.1秒,交换板所需的时间是0.2秒。

在控制器的操纵下,自动进行成像板的交换过程。交换机右边的塑料盒一次可装40块未曝光成像板,在马达驱动器的作用下未曝光成像板从前至后一块一块地被推到曝光窗口的位置,而在窗口已曝光的成像板又一块一块地被推到交换机的左边塑料盒中,但成像

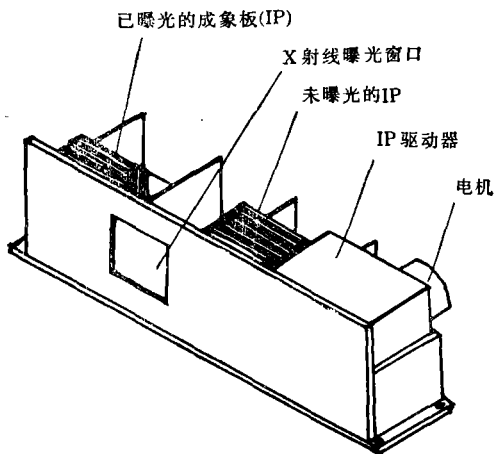


图 1

板的堆放顺序正好与右边塑料盒中堆放的顺序相反。

记录在成像板上的X射线图形可用成像阅读器(或叫激光扫描器)读出来。其构造如图2所示。由扫描镜反射的一束激光通过聚焦镜,以垂直扫描的形式在横向移动的成像板上扫描。由激光扫描激发出来的光,通过光导纤维送进光电倍增管(PMT),并转换成电信号输出。光电倍增管的输出信号由前置放大器放大后,送进A/D转换器转变成便于计算机处理的数字信号。在激光扫描读完之后,成像板上还会有约20%的成像信息保留在上面。为了重新使用这些成像板,可通过日光灯的照射,从成像板上完全抹掉这些残存的成像信息。

这种装置已应用到具有时间分辨的小角X射线散射实验中,对合成聚合物和肌肉收缩进行实验研究。

(2) 条纹照相法线性探测器

这是一种根据条纹照相法原理设计的线性(一维)探测器,时间分辨率为23μs。条纹照相法线性探测器的原理图如图3所示。成像板贴在转筒上。穿过狭缝的一维X射线衍射图形沿着圆筒的轴向(X轴)记录在成像板上,而作为时间函数的衍射强度则沿着圆周线

(T轴)记录在成像板上。于是,时间分辨的一维X射

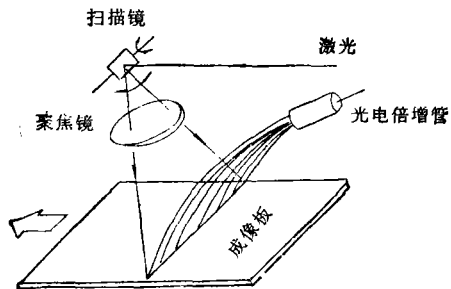


图 2

线图就以X-T成像形式记录在成像板上。

条纹照相法探测器的应用并不局限于X射线衍射和散射方面的实验,也适用于X射线谱的时间分辨测量,比如能散扩展X射线吸收精细结构(DEXAFS)和X射线康普顿散射。把成像板应用到时间分辨测量实验中的另一种方法是利用同步辐射脉冲时间结构的闪频技术,康奈尔同步辐射实验室广泛采用了这种实验技术。

成像板探测器的高探测量子效率、宽广的动态范围及对计数率无限制等优良性能已全部应用到时间分辨的实验。二维图形的时间分辨测量在强度方面会给我们提供更多的信息。

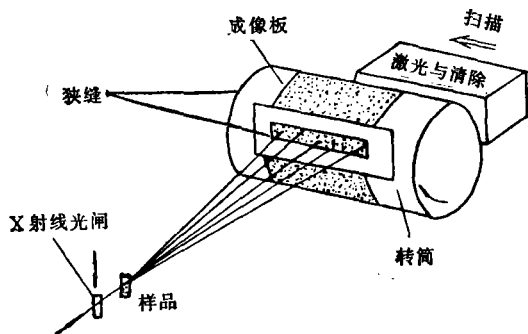


图 3

我与《现代物理知识》

· 山东临沂一中孙中刚：“《现代物理知识》能帮我的忙,能够拓宽我的知识面,激发我对物理的进一步爱好,帮我解释学习上的疑难。”

· 安徽铜陵化纤厂吴向亮：“你们编辑的杂志,是了解、研究微观世界的极好资料,实在令人振奋。”

· 西安航专田军：“《现代物理知识》使我更加坚定了向物理学高峰进军信心。” (尧水辑)