

光电导探测器灵敏度标定方法的探索

易荣清¹ 孙可煦¹ 杨国洪¹ 刘慎业¹ 崔明启² 赵屹东² 朱佩平²

1(中国工程物理研究院激光聚变研究中心 绵阳 621900)

2(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 光电导探测器体积小,灵敏度高,应用范围广,但暗电流也高,所以光电导探测器的直流标定是很困难的.我们采用了电子学的方法,探索光电导探测器灵敏度标定,给出光电导探测器 50—300eV 的灵敏度曲线.实验表明,这种方法是可行的.

关键词 同步辐射 光电导 标定

1 引言

光电导探测器^[1-4]有许多,我们常用的光电导探测器有:金刚石和砷化镓.光电导探测器是一种新型的 X 光探测器,它具有体积小,灵敏度高、平响应、响应快等优点,是将来应用于 X 光诊断比较理想的 X 光探测器.利用它体积小的优点,可以把我们的 X 光能谱仪小型化,根据实验的需要放在任何位置,由于金刚石探测器平响应在标定中可以少花许多力气,在应用中,数据处理变得更简单,由于它响应快,利用它可以给出 X 光的发光时间过程.因此,金刚石探测器的发展对于 ICF 实验研究是很有意义的^[5-7].

由于金刚石灵敏度高,暗电流也很高,约 10^{-10} A,在普通恒流光源(包括目前的北京同步辐射源)上标定,信号只有 10^{-11} A,信噪比太低,被认为是采用直流法标定光电导探测器的灵敏度是不可能的.

2 金刚石工作原理和简化模型

金刚石由碳原子构成,碳原子四价元素,共有 6 个电子,组成 $1s^2 2s^2 2p^2$, N 个碳原子结合成实际的金刚石后其价电子的能带如图 1 所示,上下有两个能带,中间隔以禁带.

当 X 射线辐照金刚石光导时,入射光子从禁带激发电子到导带并且留下一个空穴,通过加在金刚石两端的偏压收集电子,输出电信号,采用电流计记

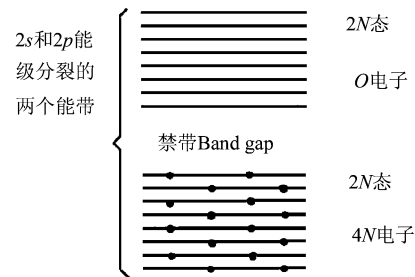


图 1 金刚石电子能带

录信号.

金刚石是低 Z 材料,电子和空穴迁移率之比为 $1:5$,我们可以采用一个单一的载流子模型比较精确地描述金刚石光导,在这个模型中,把光子激发的电子和空穴看作单一的平均载流子,电荷载流子密度随时间的变化关系由下述线性方程确定:

$$\frac{dn}{dt} = f(t) - \frac{n}{\tau}, \quad (1)$$

式中右边第一项 $f(t) = \frac{P(t)}{\gamma_g \cdot V}$ 表示载流子产生速率,第二项表示由于捕获和复合引起的载流子损失.其中 $P(t)$ 是吸收光子功率; τ 是载流子寿命; n 是载流子密度; γ_g 是形成一个电子空穴对的平均能量,当光子能量远大于禁带宽度时,是一个常值,等于 3 倍禁带宽度,即 18.5eV ; V 是激发体积,等于截面和沿施加电场方向金刚石长度 L 的乘积.传导电子密度 n 与电导率 α 由下式确定:

$$\alpha = ne\mu, \quad (2)$$

式中 μ 为载流子迁移率. 对(1)式积分并结合(2)式,当偏压为 U . 负载电阻为 R 时输出电流信号为

$$I(t) = e\mu\tau U_0 L^{-2} \int \frac{\Phi(E,t)}{\gamma_g(E)} E dE, \quad (3)$$

式中 E 为人射光子能量. 探测器的灵敏度:

$$S = \frac{e\mu(\varepsilon)\tau V_0}{L^2 \gamma}. \quad (4)$$

3 标定方法

实验是在北京同步辐射的 3W1B 软 X 光实验站上进行的,软 X 光的能区是 100—1500eV,单色性 $\Delta E/E$ 约为 0.2,探测器偏压为 0—400V. 金刚石的大小为 1mm × 2mm,实验安排如图 2 所示.

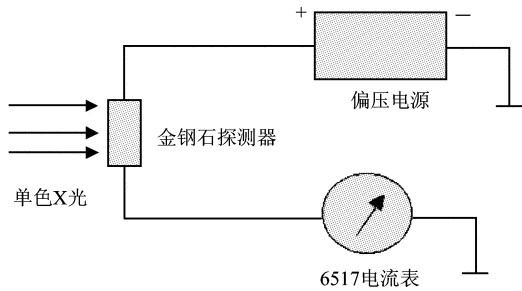


图2 金刚石探测器灵敏度标定原理图

单色 X 光作用在金刚石探测器的光阴极上产生电子空穴对,电子空穴对在电场的作用下向两极移动,形成电流,电流信号通过 6517 电流计记录,由于,电流信号的大小与入射光的强度成比例,所以有

$$I = SI_0, \quad (5)$$

式中 S 为金刚石探测器的灵敏度, I_0 为入射光的强度.

4 标定结果及分析

通过实验给出了探测器的信号、暗电流与偏压的关系,实验结果如图 3 所示,从实验结果中可以看出,信号、暗电流随高压的变化而变化. 而在目前的光强条件下,在 1000V 时,探测器的输出信号为 10^{-11} A,暗电流约为 10^{-10} A,信号比暗电流大得多,显然不能用直流法标定. 但是,通过我们的实验,发

现,虽然光电导探测器的暗电流很高,但是,暗电流的非常稳定,它们只与偏压有关,只有极少部分是随几变化的,而这部分与偏压无关,在 200V 时小于为 10^{-12} A. 通过电子学方法,扣去暗电流不变的成分,那么可以获得几十倍的信噪比. 通过实验,给出了金刚石探测器在 50—280eV 能区的灵敏度标定结果,实验结果如图 4 所示. 同时也说明这种标定方法是可行的.

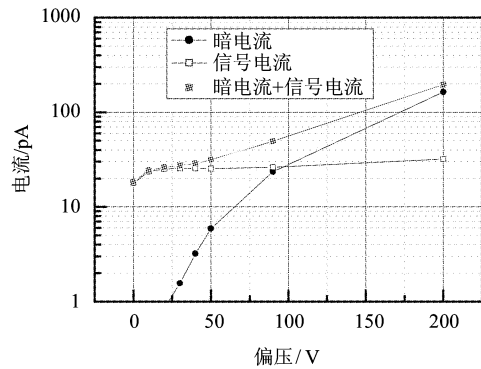


图3 金刚石探测器信号和暗电流情况图

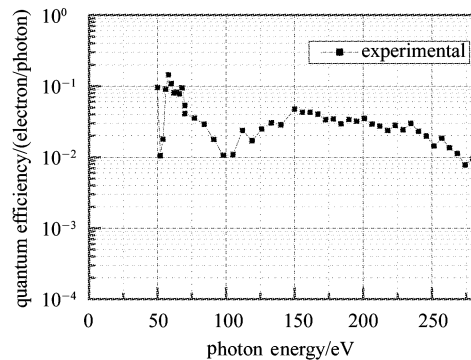


图4 金刚石灵敏度标定结果

在高能部分,由于光强太弱,信噪比太低,实验结果不可信. 下一步的工作是,采用光纤聚光的方法,把现在 5mm × 30mm 的光斑聚焦成小于 $\phi 1$ mm 的光斑,这样光强可以提高 1—2 个量级,信噪比也可以提高 1—2 个量级,所以,不久,我们就能实现光电导探测器的标定.

暗电流的来源主要是热噪音,下一步想通过冷却的方法降低热噪音,提高信噪比,从而提高标定精度.

参考文献 (References)

- 1 WANG C L et al. Rev. Sci. Instrum, 1986, **57**(8):2177
- 2 Kania D R et al. J. Appl. Phys., 1990, **61**(10): 2755
- 3 Kania D R et al. J. Appl. Phys., 1990, **68**(1): 124
- 4 Spielman R B et al. Rev. Sci. Instrum, 1992, **63**(10):5056
- 5 WANG Hong-Bin et al. Nucl. Elec & Dete. Tech., 1995, **15**(6): 343 (in Chinese)
- 6 HUANG Tian-Xuan et al. J. Atom. & Mole. Phys., 1998, **15**(1): 387 (in Chinese)
(王红斌等. 核电子学与探测技术, 1995, **15**(6):343)
- 7 MA Hong-Liang et al. J. Atom & Mole. Phys., 1994, **11**(4):387 (in Chinese)
(黄天宣等. 原子分子物理学报, 1998, **15**(1):73)
- 8 MA Hong-Liang et al. J. Atom & Mole. Phys., 1994, **11**(4):387 (in Chinese)
(马洪亮等. 原子分子物理学报, 1994, **11**(4):387)

Exploration of Calibration Methods of Photoconductive Detectors Sensitivity

YI Rong-Qing¹ SNU Ke-Xu¹ YANG Guo-Hong¹ LIU Seng-Ye¹
CUI Ming-Qi² ZHAO Yi-Dong² ZHU Pei-Ping²

1 (Institute of nuclear physics and chemistry of CAEP, Laboratory for laser Fusion, Mianyang 621900, China)

2 (Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract Photoconduction detector has advanced features of small volume, high sensitivity and wide application range, but the noise current of it is high. So it is difficult to calibrate the detector's sensitivity. We have calibrated a few of PCDs by the way of electronics on Beijing Synchronization Radiation Facility (BSRF) and obtained the sensitivity curve at 50—300eV energy range. The way we used has been proven a good way from the experimental results.

Key words synchronization radiation, photoconduction, calibration