

新型硅吸收剂量量热计的应用

安金霞,巴维真,吾勤之,何承发,陈朝阳

(中国科学院新疆物理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:叙述了一种新型硅吸收剂量量热计的结构、电加热校准情况及其测量原理,给出了用该量热计标定中国科学院新疆物理研究所⁶⁰Co 辐照室中吸收剂量率及升降源过程吸收剂量对距离分布情况,说明升降源过程吸收剂量尤其在短时间、近距离、小剂量等辐照情况下不可忽视。

关键词:硅;吸收剂量;量热计;射线

中图分类号:TL818+.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6931(2000)01-36-05

量热法测定吸收剂量可根据物质的比热和受射线辐照后的温升来绝对测量。因此,量热法是测量辐射吸收剂量最直接、最可靠的方法,可用来标定未知辐射场的剂量分布及其它类型的相对剂量计。

近年来,随着抗辐射电子学的发展,提出了准确测定硅及其它半导体材料吸收剂量的要求,研制了以硅片作为吸收体、用泡沫塑料隔热和以硅球体作为吸收体、用空气层隔热的简易量热计^[1]。这些量热计在对绝热要求不高的脉冲 X 射线辐照应用中起到了较大作用,但对吸收剂量率较低的稳态辐射,热损失引起的测量误差是不可忽视的。

1 结构和测量原理

1.1 量热计结构

量热计由探头、测量仪器和计算机等部分组成。量热计探头的结构示于图 1。它由计芯、外套、封盖和介质 4 部分组成。前 3 部分用纯度为 99.99 % 的高纯硅制成,介质由纯铝制成。其中,计芯为直径 20 mm、厚约 2 mm、质量为 1 354.688 mg 的硅圆片。计芯的两面分别埋设 1 个经过精确标定的加热和测温微型珠状热敏电阻,热敏电阻及其固定胶等引进的杂质在计芯中所占质量百分比不大于 0.2 %。此量热计的设计具有以下特点。

1) 整个探头组件装在聚合材料制成的真空筒中,计芯与外界有 3 层高真空 ($< 10^{-3}$ Pa) 绝热保护;尽量减少计芯支撑点的个数,仅用隔热材料作三点支撑;对计芯表面进行抛光处理,其它组件内外表面均贴以镀铝 Mylar 薄膜,从而有效防止了热损失。

2) 硅计芯周围均为硅材料组件,量热计受辐照时各组件同步升温,计芯以近似绝热方式

收稿日期:1998-05-05;修回日期:1998-09-01

作者简介:安金霞(1973—),女,河北威县人,硕士,助理研究员,电离辐射物理专业

升温,减少了热损失引起的误差,并为计芯创造了良好的电子平衡条件。

3) 量热计直接测得硅材料的吸收剂量,并且设有活动入射窗,只盖1个封盖(厚度为0.5 mm)时,适合低穿透性辐射(电子、X射线)测量;再加盖1个封盖(厚度为2.1 mm),适合高穿透性辐射(射线)测量。

4) 在探头的入射窗口前侧加装了一透射电离室,可与计芯测温系统同步采集电离电流变化情况,可较精确确定升降源时间,从而得出升降源附加剂量大小。

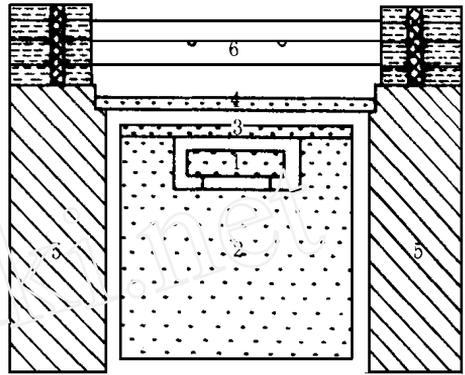


图1 硅量热计探头组件结构图

Fig. 1 Cross section of the silicon calorimeter assembly
1——计芯;2——外套;3、4——封盖;
5——介质;6——电离室

1.2 吸收剂量率测量原理

在与周围介质热绝缘的情况下,量热计计芯材料中的吸收剂量为:

$$D = E/m = (E_h + E_s)/m \quad (1)$$

式中: m 为灵敏体积的质量; E 是电离辐射授予灵敏体积的能量; E_h 是灵敏体积中吸收能量所转化的热量; E_s 是以辐射化学反应等形式损失的能量。因选用纯度为99.99%的硅作为吸收体材料, E_s 可忽略不计。考虑比热容定义,可推出:

$$D = c \cdot T \quad (2)$$

式中: c 为计芯材料(硅)的比热容,由电加热校准实验获得; T 为计芯温升。

测温电桥电路各桥臂阻值的相对变化满足以下关系:

$$R_c/R_c = R_x/R_x \quad (3)$$

式中: R_c 和 R_x 分别是惠斯通电桥(图2)中测温热敏电阻和精密电阻箱阻值变化量。由测温热敏电阻特性公式,在温升较小的条件下可得到:

$$R_c/R_c = -B \cdot T/T^2 \quad (4)$$

式中: B 为热敏电阻特性常数; T 为计芯初始温度(K)。

由以上各式并考虑辐照时间 t (由计算机计时)可得吸收剂量率 \dot{D} 为:

$$\dot{D} = -[c \cdot T^2/(B \cdot t)] \cdot (R_x/R_x) \quad (5)$$

1.3 升降源过程吸收剂量测量原理

^{60}Co 源从井底贮存位置上升到工作(辐照)位置和从工作位置返回到贮存位置均需要一定的时间,源在运动期间产生的吸收剂量称为升降源的附加剂量,必须对其进行测量,以便准确确定辐照的总剂量。量热计入射窗前侧所固定的透射电离室可监测升源、辐照和降源过程中辐射场强度的变化过程。根据透射电离室的特性,电离电流与射线的照射量率具有线性关系,与吸收剂量率具有近似线性关系。测温曲线及电离电流变化曲线示于图3。根据图3所示的测试曲线,可得出升降源过程的附加剂量:

$$D_a = \dot{D} (t_3 - t_2) \left[\left(\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt + \int_{t_3}^{t_4} I(t) dt \right) / \int_{t_2}^{t_3} I(t) dt \right] \quad (6)$$

式中: t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 分别表示 ^{60}Co 源自井底部启动上升、源到辐照位置、源开始下降及源复位到

井底的时刻。

2 实验测试

2.1 测试电路

当 ^{60}Co 源从水井升上来时,射线穿过透射电离室并入射到量热计芯,量热计芯的温升由惠斯通电桥测量,电桥信号经 Keithley-619 静电计的一个通道测量并输入计算机(图 2)。同时射线在电离室中形成电离电流,由静电计的另一通道测量并输入计算机,实现同步采集数据。

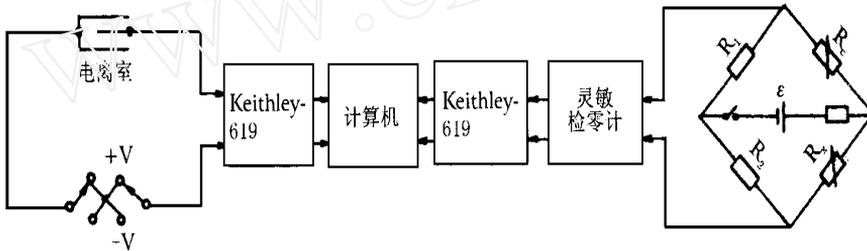


图 2 量热计测温系统及电离室监测系统框图

Fig. 2 Block diagrams of the temperature measuring system and the monitor system by ionization chamber

2.2 电校准情况

在量热计多层绝热和 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ Pa 真空环境下,用水浴恒温法使量热计在较宽的温区 ($0 \sim 35$) 选择不同温度进行校准。给计芯输入一已知的加热能量,测量量热计计芯的温升,确定计芯所吸收的热量和温升的关系,即得到了校准系数(计芯比热容)随温度变化关系,从而可在 $0 \sim 35$ 温区内选择任意方便温度使用该量热计测量。校准结果采用温度漂移等措施修正^[2],以提高校准准确度。校准数据拟合的结果^[3]如下:

$$A = -0.0116 T^2 + 7.88 T - 603.46 \quad (7)$$

2.3 ^{60}Co 射线吸收剂量的测量

对中国科学院新疆物理研究所的活度为 5.5×10^{15} Bq 的 ^{60}Co 源(由 12 根高 40.6 cm 的源棒沿直径 11 cm 的柱面排列组成)进行测量。剂量测量在源中心水平面上进行,共选测

11 个点,每次辐照约 100 s。测温曲线及电离电流变化曲线示于图 3。每点测量 3 或 4 次,统计标准偏差小于 0.5%。对测量数据进行处理并采用温度漂移修正^[2],按最小二乘法拟合得硅吸收剂量率随距离变化关系及升降源过程吸收剂量随距离变化关系分别为:

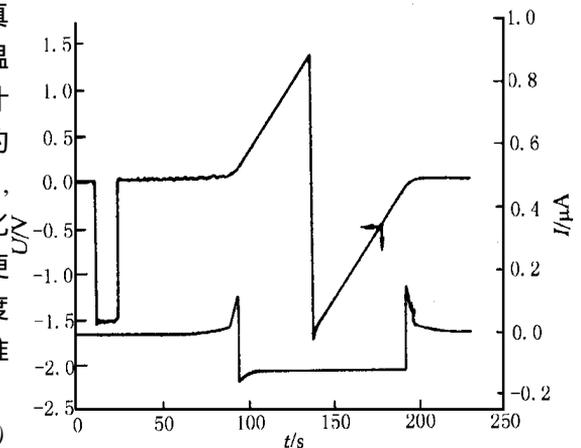


图 3 测温及电离电流变化曲线

Fig. 3 Curves of the temperature measuring system and ionic current

$$\dot{D}_{Si} = 1\,936.5\ r^{-1.895} \quad (20\text{ cm} < r < 260\text{ cm}) \quad (8)$$

$$D_a = 881.26\ r^{-1.13} \quad (20\text{ cm} < r < 260\text{ cm}) \quad (9)$$

其中: r 表示源几何中心到测量点的距离(cm)。实验拟合结果示于图 4。

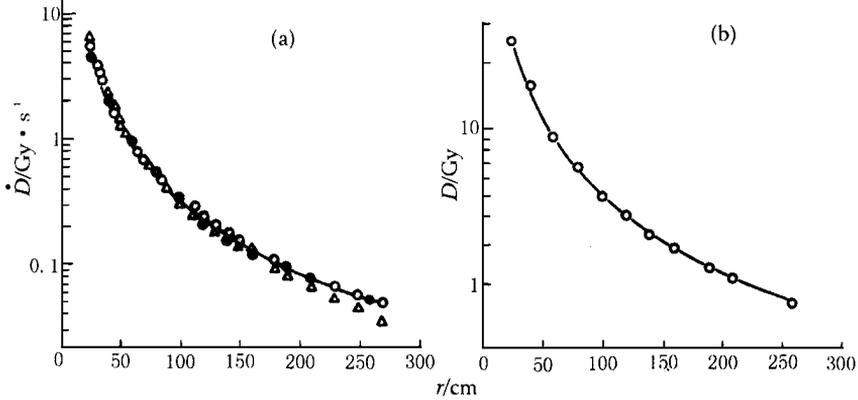


图 4 ^{60}Co 源吸收剂量率(a)和 ^{60}Co 升降源吸收剂量(b)随距离变化曲线

Fig. 4 The distribution of dose rate of ^{60}Co radiation (a) and dose of lifting-falling ^{60}Co radiation (b) with the distance

—硅吸收剂量量热计; —铝吸收剂量量热计; —化学剂量计

2.4 与铝吸收剂量量热计及化学剂量计测试结果的比较

将本实验结果与用中国科学院新疆物理研究所研制的铝吸收剂量量热计测量结果及化学剂量计测量结果进行比较(图 4)可以看出,这些测量结果比较接近。3 个结果之间存在一定的偏差,这可能主要是由于各次测量位置有偏差和所有结果向硅剂量转换时引进了误差。

3 误差分析

3.1 误差估计

根据非线性函数独立方差合成定理,对量热计所测吸收剂量率 \dot{D} 的误差因素进行了分析和估计。 B_c 、 V 、 t 、 R_x 、 R_x 、 c 、 T^2 的相对误差分别为 0.08 %、0.005 %、0.01 %、0.001 %、1.1 %、1.1 %、0.012 %。

3.2 测量误差分析

测量误差主要来源有:量热计绝热效果不甚理想带来热损失造成误差;微弱信号采集过程中的噪声所引起的误差;在处理数据时用最小二乘法进行曲线拟合带来的误差;整个电路中的各种仪器设备带来的系统误差。

4 结果与讨论

利用研制出的新型硅吸收剂量量热计测出 ^{60}Co 辐射场中硅吸收剂量率分布,得到了吸收剂量率与辐照距离的 1.895 次方成反比的简单拟合关系,为半导体材料辐射效应的研究提供了可靠的剂量数据。

^{60}Co 源升降源过程吸收剂量的测量结果表明:升降源剂量对短时间、近距离、小剂量等辐

照情况绝不能忽视。实验测量统计偏差小于 0.5 % ,估计误差小于 2 %。

参考文献:

- [1] Murray KM , Attix FH. An Adiabatic Calorimeter for Measuring X-ray Dose in Silicon[J]. Health Phys , 1973 ,25 :169 ~ 171.
- [2] Domen SR. Advances in Calorimetry for Radiation Dosimetry [A]. Kase KR. Dosimetry of ionizing radiation [C]. New York : Academic Press , 1986. 295 ~ 300.
- [3] 安金霞 ,巴维真 ,吾勤之 ,等 . 新型硅吸收剂量热计的电校准[J]. 核技术 ,1999 ,22(6) :370 ~ 373.

Application of a New Style Silicon Absorbed Dose Calorimeter

AN Jin-xia , BA Wei-zhen , WU Qin-zhi , HE Cheng-fa , CHEN Zhao-yang

(Xinjiang Institute of Physics , Chinese Academy of Sciences , Urumqi 830011 , China)

Abstract : The structure and electrical calibration and measurement principle of a new style silicon absorbed dose calorimeter are described. The distribution of dose rate with the distance in a ^{60}Co radiation room is given , and the dose during lifting-falling ^{60}Co radiation is also measured. Its results show that dose during lifting-falling ^{60}Co radiation can not be ignored , especially the radiation for the short time , for short distance or for little dose.

Key words : silicon ; absorbed dose ; calorimeter ; γ -ray