

手表玻璃作为核事故剂量的ESR检测材料

吴 可 孙存普 史元明

(北京放射医学研究所, 北京100850)

摘要 用电子自旋共振方法研究了 ^{60}Co γ 射线照射石英手表玻璃的基本剂量学特性。实验结果表明,在0—50 Gy范围内,手表玻璃的ESR信号强度与辐射剂量呈线性关系($r=0.9993$),可测剂量下限低于2 Gy。提示手表玻璃可以做为一种有效的核事故剂量ESR检测材料。

关键词 手表玻璃, 电子自旋共振, γ 辐射, 剂量计

电子自旋共振(ESR)技术可检测物质中由电离辐射诱发的自由基或晶格缺陷等顺磁性物质的含量和特性,用于测量受照者身佩的非生物样品,不受人体个体差异的影响^[1],被认为是很有前途的事故剂量检测方法,并已有应用实例^[2]。目前此领域研究的重点是寻找具有普遍应用性的ESR检测材料和相应的实用测量方法。本文用ESR方法研究了普通手表表面玻璃的剂量学基本特性。

1 材 料 和 方 法

1.1 样品制备

用石英手表表面玻璃,裁切成 $2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 片状实验样品。

1.2 样品照射

用 ^{60}Co 辐射源,以 2 Gy/min 剂量率,在室温下对样品进行照射,照射剂量误差小于2%。

1.3 ESR 测量

将样品固定于一扁平石英架上,使样品在腔中的垂直位置和水平转角都能相对固定。采用Brnker-ESP 300型电子自旋共振仪,配以TE 104矩形双腔,在第一腔孔内放置实验样品,第二腔孔内固定一恒定浓度的 VOSO_4 为内标。用X波段微波桥取 2 mW 微波功率,全部测试均在室温下进行,调制频率 25 kHz ,调制幅度为 $3 \times 10^{-4}\text{ T}$,扫场宽度 $4 \times 10^{-2}\text{ T}$,扫描速度 $25 \times 10^{-4}\text{ T/s}$ 。

1.4 信号强度计算方法

计算样品波谱的双积分值 I 和与样品同时监测的内标信号峰高值 A ,用 I/A 并除以样品重量所得数值作为各样品ESR信号相对强度值,用上述测量和计算方法反复放置并测试照射 10 Gy 的同一样品得到平均实验误差为5%左右。

2 结 果

2.1 辐照后 ESR 信号波谱特征

收稿日期: 1991-07-15

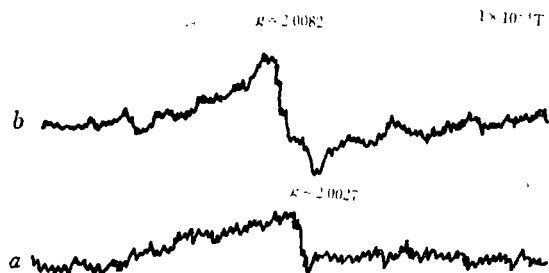


Fig 1. ESR signal of watch glass
(a) background signal
(b) irradiated with 10 Gy

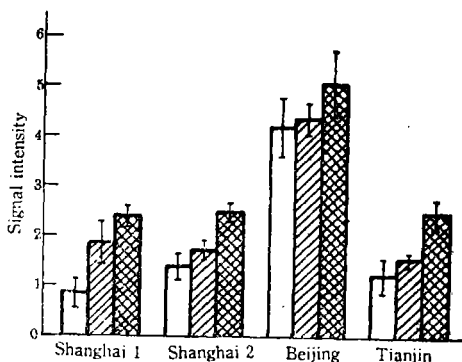


Fig 2. Background signal and signal response to dose of four kinds of watch glass
□ 0 Gy ▨ 5 Gy ▩ 10 Gy

本试验选用 4 种不同的石英手表玻璃材料(分别由北京、天津、上海生产),经 ^{60}Co γ 射线照射后其 ESR 信号均显示了类似图 1 b 所示的波谱。照射前样品在 $g = 2.0027$ 处有一较小的本底信号,其谱线宽约 $6 \times 10^{-4}\text{T}$ 。照射后在 $g = 2.0082$ 处出现了一新的信号成分,其谱线宽约为 $11 \times 10^{-4}\text{T}$,辐照对本底信号影响不大。

2.2 ESR 信号强度的剂量响应特性

图 2 是 4 种不同型号手表玻璃的本底分散度及剂量响应比较。图 3 是一组样品在室温下用累积照射方法所得的 ESR 信号相对强度对照射剂量的响应曲线,累积照射的时间间隔小于 1 h。在 0—50 Gy 剂量区内有良好的线性关系,相关系数 $r = 0.9993$ 。用 2 Gy 剂量点值与本底值做 t 检验得 $0.05 > p > 0.025$,呈显著差别,故可将 2 Gy 定为可测剂量下限值。

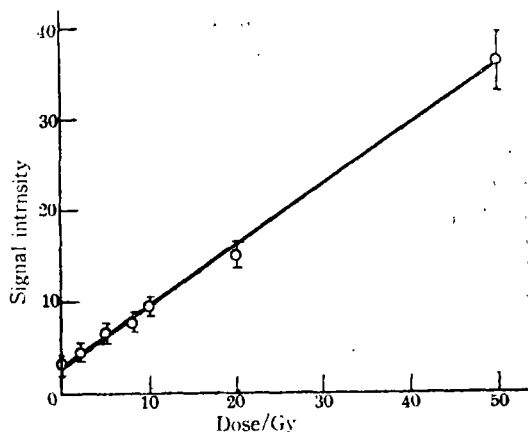


Fig 3. Dose response curve of ESR signal intensity of watch glass

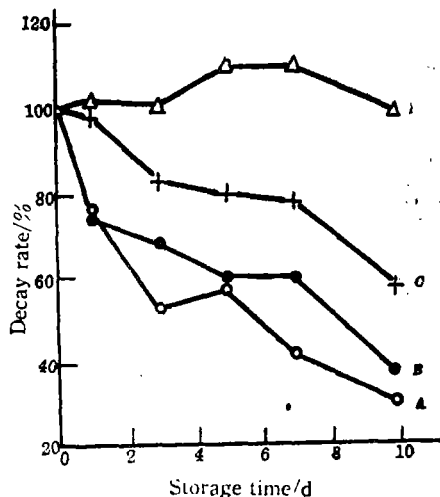


Fig 4. Decay feature for ESR signal of irradiated watch glass storage temperature ($^{\circ}\text{C}$): (+) 4, (●) 24, (○) 40, (△) 24, stable kind

2.3 辐照后 ESR 信号稳定特性

将照射 20 Gy 的样品分别在不同温度下保存,结果多数样品的信号随温度的变化规律如图

4所示,在低温下信号衰减较慢,个别材料的信号能在1周时间内相对稳定。

2.4 信号的累积照射效应

一次性照射30 Gy与分3次累积照射30 Gy(每次10 Gy,时间间隔小于1 h)的信号强度分别为 1.66 ± 0.223 和 1.707 ± 0.255 ,结果辐射诱发的信号成分对照射剂量具有累加效应,认为对于事故样品,可以用数次附加照射的方法定出其自身剂量响应规律。

2.5 升温效应

考虑到不同型号手表玻璃的本底分散性,实用中用平均本底代替事故样品本底估计剂量误差较大,为获得被照样品的自身本底,将照射后样品进行了200℃升温1 h的处理,结果信号变化如表1所示。

Tab 1. Heating effect on ESR signal of watch glass

	Background	Radiated with 50 Gy	Heating after irradiation
Signal Intensity ($\bar{x} \pm S_D$)	1.54 ± 0.19	5.91 ± 0.67	1.51 ± 0.21

2.6 环境因素对本底值的影响

取两组样品,第一组用30 W波长254 nm紫外灯相距0.5 m连续照射3 h,另一组在强烈阳光下连续照射4 d,本底信号变化如表2。结果显示强烈的紫外光照对本底有一定影响。

Tab 2. Environmental lighting effect on background of watch glass

	Background	Ultraviolet light	Sun light
Signal intensity ($\bar{x} \pm S_A$)	1.51 ± 0.20	2.23 ± 0.11	2.16 ± 0.55

3 讨 论

3.1 利用手表玻璃的ESR信号变化特性,可以作为一种有效的意外核事故剂量检测指标。利用本试验的方法,室温下可测剂量下限在2 Gy以下,适用剂量范围0—50 Gy。

3.2 用手表玻璃做实际剂量检测,可能会遇到下列问题:

(1) 实际应用中样品本底信号难以获得,可以利用同种材料的平均本底代替样品自身本底,但要考虑由平均本底分散度带来的剂量测量误差。利用升温去除辐射诱发信号来获得样品自身本底值,在实际应用中更客观。

(2) 多数手表玻璃材料的信号会随时间有一定的衰退,且衰退速率与保存温度有关,这给实际应用带来较大影响,实用时应根据获得样品的时间和环境,取部分样品退火恢复本底后,重新照射,定出衰退量纠正参数,如能将样品低温保存或照后尽早测试,对克服衰退的影响更有利。

3.3 影响本方法剂量检测误差的因素除实验误差外,还应考虑信号衰减的影响,如用平均本底值计算,还要考虑本底分散度的影响,而且随着照射剂量的下降,信号变弱,信噪比下降,还会使实验误差增大。如以10 Gy剂量点计算,实验误差为5%,一般材料平均本底分散度为15%左右,则在不纠正衰退率的情况下,本方法的剂量检测误差约为20%,如能用自身本底代替平均本底,可望降低此误差。

3.4 ESR 测量精度很大程度上依赖于样品的性状，一般固体样品以粉末状测试较理想。但试验证明对手表玻璃材料粉碎后会使信号大幅度减弱。故本试验只对材料按一定规格做成形处理，使之成为片状。由于玻璃的介电常数比石英大10倍左右，会有一定的介电损耗，实验中借鉴了水溶液样品的扁平池测量原理，使样品体积分布于谐振腔中磁场分量最大而电场分量最小的区域，有效地克服了样品介电损耗对微波功率的吸收。

3.5 国际上对事故剂量 ESR 测量的研究很重视。用骨、牙、纤维和塑料等材料的研究都已有报道^[3-5]，但从事故剂量应用的角度来看，骨、牙适于给出受照者死后剂量，而纤维和塑料的品种繁多，且测量方法较复杂，而手表玻璃测量过程较简单，给出结果的速度较快，且取材机会多，如能在事故后尽早取样测试，并累积照射后定出样品的剂量响应和时间衰退规律，将会给出较有价值的事故剂量评估值。

参 考 文 献

- 1 Ikeya M et al.. Jpn. J. Appl. Phys., 1984, 23: 697
- 2 Sagstuen E et al.. Health Phys., 1983, 45(5): 961
- 3 Brady J M et al.. Health Phys., 1968, 15: 43
- 4 Toshiyuki N et al.. J. Nucl. Sci. Technol., 1974, 11(12): 575
- 5 Barthe J et al.. Appl. Radiat. Isot., 1989, 40(10-12): 1029

THE WATCH GLASS USE FOR ESR DOSIMETRIC MATERIAL IN NUCLEAR ACCIDENT

Wu Ke Sun Cunpu Shi Yuanming

(Beijing Institute of Radiation Medicine, Beijing100850)

ABSTRACT Electron spin resonance technique was used to investigate the ESR characteristic of watch glass irradiated with γ -ray. The result showed that signal intensity has a linear relation with irradiation dose in range of 0—50 Gy, the lower limit of detectable dose is below 2 Gy. It suggests that watch glass can be a kind of applicative material for nuclear accident dose evaluation.

KEYWORDS Watch glass, ESR, γ -irradiation, Dosimetry