

氯化银晶体径迹探测器

赵裕民

(中国科学院原子能研究所)

六十年代初期,蔡尔兹等人^[1]发现在透明氯化银单晶片中重带电粒子可以产生能在显微镜下观察的径迹,此径迹是沿粒子在单晶体内的路径形成潜影,经显影处理后沉淀出银颗粒而显现的。由于它用于法显影,并具有对带电粒子灵敏,对 γ 射线不灵敏和空间分辨率高等特性,所以在生命科学和核物理学等方面得到了应用。

一、径迹的形成

1. 记录带电粒子的灵敏度

纯氯化银单晶对带电粒子毫不灵敏,只有掺入一定杂质后才对带电粒子灵敏,灵敏度与所掺杂质的种类和数量有关。根据现有资料,认为掺入 5000 ppm (按重量) 镉离子的氯化银单晶片最为灵敏,它对质子的灵敏阈约为 30 MeV (图 1)。另外,也有人用掺镉的溴化银单晶片做径迹探测器,对质子的灵敏阈是 15 MeV^[2]。

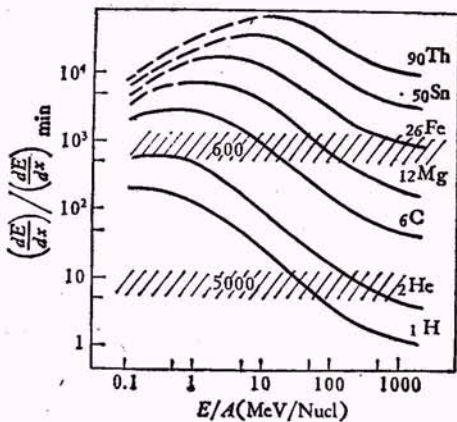


图1 两种掺杂浓度的 AgCl 探测器的灵敏度 (掺 Cd 600ppm 和 5000ppm)^[3]

2. 潜影衰退及潜影的稳定

与核乳胶相似,当氯化银晶体在全暗中受粒子照射后如不立即显影,潜影就会自行衰退甚至消失(图 2)。衰退的速度与带电粒子的电荷及能量有关。当前各家所做工作中,潜影衰退的速度相差十分悬殊。德米特莱耶夫^[4]等人的结果是:质子 1.5 小时; α 粒子 6 小时;而绍特等人^[5]所得结果为:质子 2 分钟; α 粒子 20 分钟。造成差别的原因尚不甚清楚,很可能是生长单晶的工艺起了重要作用,尤其是退火阶段。

但是,在受带电粒子照射的同时或照射后立即用 4300 Å 以上的可见光例如黄光照射,潜影就不会衰退,甚至保存半年以上也不衰退。此现象可称为开关现象,是现有固体径迹探测器中唯一可开关的。

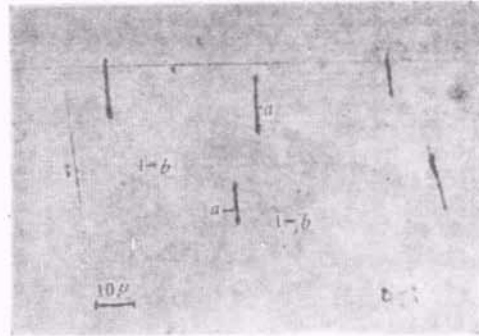


图2 α 粒子潜影的衰退^[6]

- a—稳定径迹,有黄光伴随 α 粒子同时照射,显影后的径迹;
- b—衰退径迹,晶片在全暗中受 α 粒子照射,照射完后3分钟再显影

为了使潜影能稳定下来,可以用脉冲可见光源,也可以用恒定的可见光源,潜影的稳定程

度与光源的波长、光照时间及光源强度等参数有关。如果使用恒定的黄光，约 0.1W 的小灯泡就足够了。如果用脉冲光源，当脉冲短于 10^{-2} s 时，则所需的总光通量就急剧增加，而当脉冲短于 10^{-3} s 时，就不能起稳定作用了。

由于对各种不同粒子潜影衰退时间相差很远，所以有可能利用这一特性来甄别粒子或者消除本底。

3. 显影

潜影是带电粒子在晶体内的路径上形成的，它不能直接用显微镜进行观察。但用紫外光(波长约为 4100 Å 或更短)照射就能显影，紫外光产生的光电子能使潜影附近的银离子还原成为银斑。

显影用的总光量约为 10^{18} 光子/cm²，相当于在正常日光下晒数秒钟。若显影光脉冲短于 10^{-4} s 时，即便有足够的总光量也只能在整块晶体内产生光解银而不会使潜影显影。据估计，此时间分辨的上限可能是 10^{-3} s^[5]。

波长为 4100 Å 的紫外光的光量子能量是 3eV，一般说来，5eV 以上的紫外光才会对有机体组织有破坏作用。所以，用 4100 Å 的紫外光来显影对生物学等方面的工作是有利的。

与核乳胶不同，用氯化银晶片探测粒子其全部过程都是干的，从不沾湿，无收缩，所以它的使用范围扩大了。

4. γ 射线的影响

一般说来，氯化银晶片对 γ 射线是很不灵敏的。但当 γ 剂量高达数百 R 时，就会引起潜影衰退。衰退的程度与 γ 射线的能量及粒子种类有关。对于 α 粒子的径迹， γ 剂量超过 200R 潜影密度就会下降。另外， γ 射线在 α 粒子的径迹形成之前照射比 γ 射线在 α 径迹形成之后照射潜影衰退更为显著。

5. 径迹的分辨

带不同电荷的粒子径迹的形状各不相同。大致有三种情况：黑色颗粒径迹；密集径迹，中心黑色；宽而散的径迹，中心灰色。这样，可以通过测量径迹的黑度、平均径迹宽度和光学径迹宽度等参数来分辨粒子径迹了^[6]。文献[7]中

叙述了专用设备，提高了测量速度和精度。

对于重带电粒子，平均径迹宽度在氯化银单晶片中比在核乳胶(K-5)中约小一个量级^[6]。

6. 弹性形变的影响

用于做探测器的氯化银晶片大多用夹层法制造^[8]，即把掺好杂质的氯化银多晶体夹在两片石英玻璃片之间，置于单晶炉内，通惰性气体如氩、氮等。经过一定的升温、降温和退火等过程后便成单晶。此氯化银单晶片对带电粒子的灵敏度、均匀性及潜影的稳定性等方面均与制造过程中的热处理有关。尤其是成单晶的过程以及之后的退火降至室温的过程对性能影响更大^[9]。

如果在制造单晶片的过程中去掉一或两块石英玻璃片，则所制得的单晶片对带电粒子完全不灵敏。实际上，由于石英玻璃与氯化银的热膨胀系数相差很大，当把氯化银夹在两片石英玻璃中间经过热处理和冷却之后，氯化银晶面上必然出现由于弹性形变而造成的张力。显然，单晶片是否对带电粒子灵敏是与此有关的。

若在上述对粒子不灵敏的单晶片上用一圆头玻璃棒轻划其表面，则被划过的部位对带电粒子就灵敏了。另外，掺 50ppm 镉的氯化银单晶对带电粒子是不灵敏的，但也可以用轻划表面的方法来增加其表面的弹性形变，从而也对带电粒子灵敏了。

表面产生形变后并非马上就灵敏了，而需经一段时间之后，此时间大致为几分钟，对于强的形变，甚至需两天以上的时间。此后就与时间无关了。这就是弹性形变的弛豫现象。

把氯化银多晶块滚压成薄片，经两天弛豫时间后，也能用来记录带电粒子。

二、应 用

根据氯化银单晶片的性质，它大致可应用于下述几方面：

1. 研究单个带电粒子对生物体的效应

主要是利用其干法显影，在整个过程中微

生物都不必从单晶表面移开,表面无收缩.空间分辨率高(约 0.3μ).在做细菌(尺度约为 1μ)实验中,穿过细菌的径迹直接位于细菌下面的单晶中,显影用的紫外光对细菌也不造成损伤.根据已知入射粒子能量及细菌受粒子碰撞后的位移等,就能计算出辐射给细菌的能量和辐射破坏的部位^[2].

2. 测中子剂量

可以用氯化银单晶片做人体剂量计,对于 14MeV 的中子,总截面是 268mb ^[20].

由于潜影衰退,只要把单晶片放在全暗中,就不会有随时间积累的本底.一般说来,考虑到可能存在的本底,可允许的径迹密度为 $10-10^6/\text{cm}^2$,相应的中子剂量大约是 $3\times 10^5-3\times 10^{10}$ 中子/ cm^2 ,或者是 $10^{-2}-10^3\text{rem}$ 之间.

3. 记录稀有事件

图3是利用氯化银单晶片的可开关特性来安排的记录稀有事件装置的示意图.粒子穿过实验装置后,在单晶片上留下潜影.根据两个多丝室的穿透位置决定 X_1, Y_1 坐标,切伦柯夫探测器用于甄别粒子和能量.满足实验要求的事件就能使发光二极管发光,并把潜影稳定下来;不符合实验要求的就会因无光照射而使潜影自行消失.

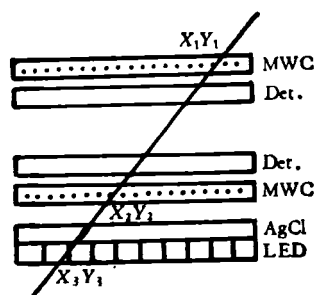


图3 稀有事件探测器的安排^[21]

MWC——多丝室; LED——发光二极管;
Det——切伦柯夫探测器

4. 用于高能核物理

与核乳胶相似,氯化银单晶片也能用于高能粒子的研究^[11],适宜于需要高密度物质、无畸变、无本底的情况下研究高能粒子的核过程.

与核乳胶不同的是氯化银单晶中只有数目

物理

相等的中间核——氯和银,而没有氢、碳、氮、氧等轻核.哈斯^[2]等人用此法研究 GeV /核能量范围内的快离子($\text{He}, \text{C}, \text{O}$ 等),在 4π 空间与氯化银中银核相互作用的压缩现象,以星形径迹的重复性和轴对称性作判据,可以消除与氯反应的本底.

5. 测中子谱

与核乳胶相比,氯化银单晶对 γ 射线很不灵敏,因此可以用来测量 γ 本底较高情况下的中子谱.将含氢薄膜覆盖在单晶片上,中子在此膜内产生反冲质子,被单晶片记录下来.氯化银本身也有 (n, p) 反应,产生质子,但都始于晶体内部,而中子在含氢薄膜内产生的反冲质子在晶体上的径迹都始于晶体表面,所以能与 (n, p) 反应本底分开.

6. 其它方面的应用

在阿波罗-联盟飞行中,曾用氯化银单晶研究在空间轨道不同部位与粒子流有关的闪光现象.主要是利用氯化银单晶片的可开关特性.

三、试制

参照文献[8],我们试制了氯化银单晶片.图4是设备的示意图.

由于条件限制,我们直接使用市售碎粒状高纯氯化银,纯度是 99.99% .氯化银是感光材料,制造单晶的整个过程都在暗室中进行,但不如核乳胶要求的那么严格.

1. 掺杂

从现有文献中看出,以掺 5000ppm 镉最为灵敏,我们也选用此掺镉浓度.按比例称好氯化银和氯化镉放进同一烧杯内,慢慢加入浓氨水,边加氨水边搅拌,直到氯化银全部溶化(氯化银极易溶化).然后在电炉上加热,不断搅拌,直到氨水全部蒸发完.此时氯化银呈细粉状态,氯化镉已掺入其中了.

2. 多晶

掺杂后的氯化银被置于石英舟内,石英舟放在炉管内,通高纯氩气,炉内最高温度升到约 700°C ,慢慢移动电炉使氯化银样品处的温

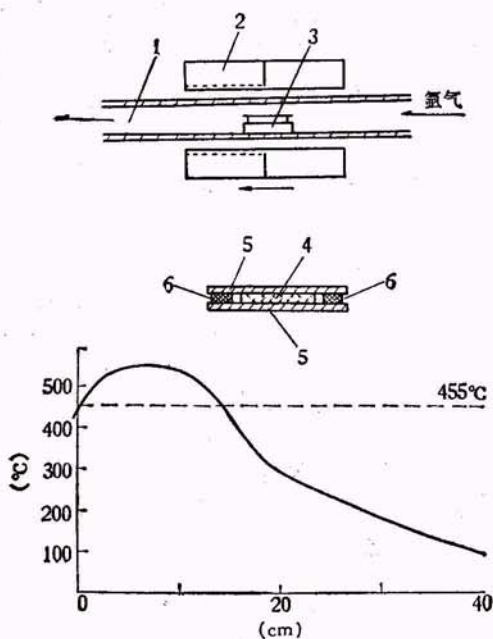


图4 生长单晶片的设备示意图(上图)和炉温分布曲线图(下图)

1—石英炉管；2—电炉；3—样品及架(见中图)；4—氯化银晶片；5—云母片；6—云母条

度逐渐升高到700°C，保持此高温约十分钟，然后移开电炉，在氯化银样品处的石英炉管外面用冷水冲石英炉管，这样氯化银样品很快就能降温，在石英舟内成条状多晶。冷却后，切断氩气，取出待用。

3. 生长单晶

取一块多晶氯化银夹在两云母片间(我们用云母片而未用石英玻璃片)，在云母片两端边处各横置一条云母条(用以定单晶片的厚度)，再置于石英炉管内。电炉起始位于最右端，由马达拖动自右向左走，炉速约40cm/小时。这样，由于电炉本身有一温度分布，所以当电炉运动时就使样品经过一个“升温—达到最高温度并保持片刻—降温”的过程，待样品温度降到约200°C左右时，迅速取出样品，投入净水中。氯化银单晶片立即脱离云母片，单晶片厚约为0.15mm左右。生长单晶过程是在高纯氩气保护下进行的。

4. 结果

对制造的单晶片进行了初步的检验。

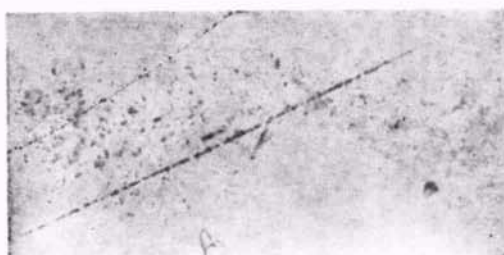


图5 D-T 中子的反冲质子部分径迹($\times 3000$)



图6 Am^{241} α 粒子径迹($\times 3000$)

图5是D-T(即氘-氚)中子($E_n \sim 14$ MeV)的反冲质子径迹，图6是 Am^{241} α 粒子($E \sim 5.5$ MeV)径迹，图7是一片本来不灵敏的晶片，它受 Am^{241} α 粒子照射后未能显出径迹，但把此晶片用玻璃棒滚压后再次受 Am^{241} α 粒子照射，却能显出正常的径迹来。图中可以看到，由于两次受紫外光显影，本底雾点增多了。

另外，所制晶片对低能18 keV β 射线灵敏。

我们的试制工作是初步的，尚待进一步提高。

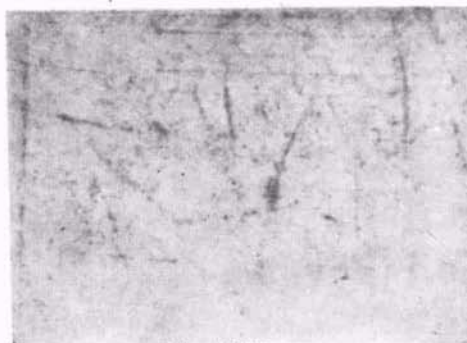


图7 经滚压后重新灵敏的晶片中的 Am^{241} 径迹($\times 3000$)

参 考 文 献

- [1] C. Childs, L. Slifkin, *Bull. Amer. Phys. Soc.*, **6** (1961), 52.
- [2] A. I. Bogdanov et al., *Nuclear Track Detection*, **2-3** (1978), 165.
- [3] G. Haase, E. Schopper, F. Granzer, *Solid State Nuclear Track Detectors*, Proc. 9th Int. Conf., Neuherberg/Munchen, (1976), 199.
- [4] V. D. Dmitriev, N. P. Kocherov, N. R. Novikova, N. A. Perfilov, *Solid State Nuclear Track Detector*, Proc. 9th Int. Conf., Neuherberg/Munchen, (1976), 217.
- [5] J. U. Schott, E. Schopper, F. Granzer, K. Dardat, G. Henig, 8th Int. Conf. Nucl. Photography and Solid State Track Detectors, Bucharest, (1972), 373.
- [6] E. Schopper, F. Granzer, G. Henig, J. U. Schott, K. Dardat, 8th Int. Conf. Nucl. Photography and Solid State Track Detectors, Bucharest, (1972), 350.
- [7] J. U. Schott, E. Schopper, R. Staudte, *Solid State Nuclear Track Detector*, Proc. 9th Int. Conf., Neuherberg/Munchen, (1976), 615.
- [8] F. Zörgiebel, G. Haase, G. Henig, E. Schopper, J. U. Schott, *Z. Angew. Physik*, **30-4** (1970), 316.
- [9] Th. Wendnagel, E. Schopper, F. Granzer, *Solid State Nuclear Track Detectors*, Proc. 10th Int. Conf., Lyon, (1980), 147.
- [10] G. Henig, E. Schopper, F. Granzer, K. Dardat, 8th Int. Conf. Nucl. Photography and Solid State Track Detectors, Bucharest, (1972), 384.
- [11] B. Charles, *Phys. Rev. Lett.*, **9-8** (1962), 354.

如何正确使用锁相放大器

陈 佳 圭

(中国科学院物理研究所)

近二十年来,锁相放大器(Look-In Amplifier,以下简称LIA)得到十分迅速的发展,我国在引进不少国外产品的同时,也研制生产了一些同类产品^[1],而且需求量正在日益增加.为了使这些先进科学仪器能获得更好的应用,有必要将其特点、使用方法和技巧,用实例加以阐述.

LIA的合理使用常常是研究工作的重要环节,巧妙的应用可以得到十分理想的结果.由于LIA本身的改进和发展,类型增多,普遍适用性强,附件繁杂,给使用者带来很多方便,但也产生了如何正确选择的麻烦.

一、使用前须知

1. LIA是对噪声有相当抑制能力的AC电压表,通过相敏检波器(PSD)进行频谱变换,再用低通滤波器(LPF)压缩等效噪声带宽(ENBW),使大量的宽带噪声得到有效的抑制.因此,LIA的输入是交流信号(正弦波、方

波或类方波),输出是直流信号,输出与输入成正比,比例常数是LIA的总增益.若被测信号不是AC信号,则需外加调制,才能使用LIA.

2. LIA的输入端,往往是一个传感器,例如光电倍增管、电子倍增器、温差电偶、压电晶体等.其作用是将微弱的被测非电量转换成电信号加以检测.因为弱信号的转换取决于这一级,所以对传感器的性能和选择必须充分了解.表示传感器性能的参数有:

(1) 灵敏度响应.即

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta P_{in}} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta I_{out}}{\Delta P_{in}},$$

ΔP 表示被测非电量的变化, ΔV_{out} 、 ΔI_{out} 分别表示传感器输出电压和电流的变化量.灵敏度响应直接关系到LIA的灵敏度(即总增益),它提供选择合用的LIA与前置放大器的数据.

(2) 输出阻抗.对LIA而言,即为输入源阻抗.它决定前置放大器的选择.源阻抗不同,匹配方法亦异.例如光电倍增管是高阻,温差电偶为低阻,压电晶体则是高阻电容性阻