

# 单晶硅热中子全截面的测量

张南宁 陈桂英 阮景辉

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 单晶硅, 全截面, 热中子, 过滤器。

## 一、前 言

从反应堆水平孔道出来的热中子束, 伴随着强的 $\gamma$ 射线和快中子, 这些 $\gamma$ 射线和快中子是各种谱仪的本底计数和工作场所的辐射剂量的主要来源, 为此, 常采用晶体过滤器<sup>[1,2]</sup>等加以控制和消除。而决定晶体材料过滤特性的主要参数是晶体的全截面。对于单晶硅, 最早由 Brugger<sup>[3]</sup>测定了 25, 50 和 70 meV 三个能量点的全截面, 并拟合成一条能量从几个毫电子伏到几百个毫电子伏的全截面曲线, 显然, 可靠性较差。在文献[4]和文献[5]中, 分别提到 Shull 和 Yelon 在 4—300 meV 能区内, 都测定了较多的实验点, 尽管实验点的数目和覆盖的能区比 Brugger 多和宽, 然而, Shull 的实验点的误差仍然较大(最大至 30%), Yelon 的实验结果未标出误差, 精度无法作出估计; Brugger 最近又发表了一组从 0.003—50 eV 较好的全截面数据<sup>[6]</sup>, 但仍然与 Yelon 和 Shull 的实验存在着较大的差别。我们利用原子能所重水堆旁 1# 谱仪进行了单晶硅全截面的测量, 并利用 Be 过滤器把能量扩展到 1.5 meV。

## 二、实验装置和方法

测量谱仪的示意构造如图 1 所示。反应堆水平孔道出来的热中子束, 经过第一准直器(发散度 $20'$ ), 由单色器(分别采用锗、热解石墨和人工云母)选出单色中子束, 打在样品单晶硅上, 然后再经过第二准直器(准直器前加一个直径为 1.5 cm 镉片光阑, 其发散度 $35'$ ), 最后, 由金硅面垒型半导体探测器( ${}^6\text{LiF}$  为转换片)探测。对于能量低于 5 meV 的区域, 为了消除级次污染, 在第一准直器和单色器之间安置了铍过滤器。

我们采用的 Si 单晶样品长为 19.8 cm, 直径为 6 cm, 中子束沿晶体的 $[111]$ 轴方向。

对每一个能量点, 分别测得有样品和无样品的计数, 从而得到透射率和全截面。

在 10—400 meV 的能量范围, 用锗单晶(111)面作单色器; 在低能 1.5—5 meV 范围内, 采用人工云母(001)作为单色器, 同时也采用了热解石墨(002)单色器。

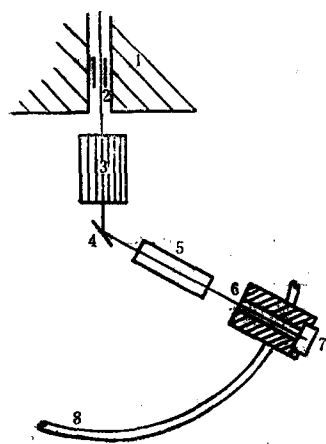


图 1 实验装置示意图

1. 反应堆屏蔽; 2. 第一准直器;
3. 铍过滤器; 4. 单色器;
5. 样品(Si); 6. 第二准直器;
7. 半导体探测器; 8. 轨道。

### 三、实验结果及讨论

在室温( $\sim 15^\circ\text{C}$ )下, 中子能量在  $0.0015\text{--}0.4\text{ eV}$  范围内, 测量出单晶硅全截面  $\sigma$  (见图 2)。在三个典型的能量段作了实验误差的计算和分析, 结果表明误差主要决定于统计误差。在低能区 ( $\leq 5\text{ meV}$ ), 由于引进了铍过滤器而消除了级次污染, 也减小了本底, 因而统计性较好, 误差为 2% (约实验点大小); 在  $10\text{ meV}$  到  $20\text{ meV}$  能区, Ge 单晶级次污染较严重, 使得误差增加到 19% (在  $17\text{ meV}$  处标出); 在  $70\text{ meV}$  以上的区域, 误差为 2% (在  $150\text{ meV}$  处标出)。

从图 2 中单晶硅全截面曲线看出, 在约  $20\text{ meV}$  到  $70\text{ meV}$  能区内, Brugger 的两次实验结果, Shull 和 Yelon 的实验结果与本文结果在误差范围内基本一致。然而, 在约  $10$

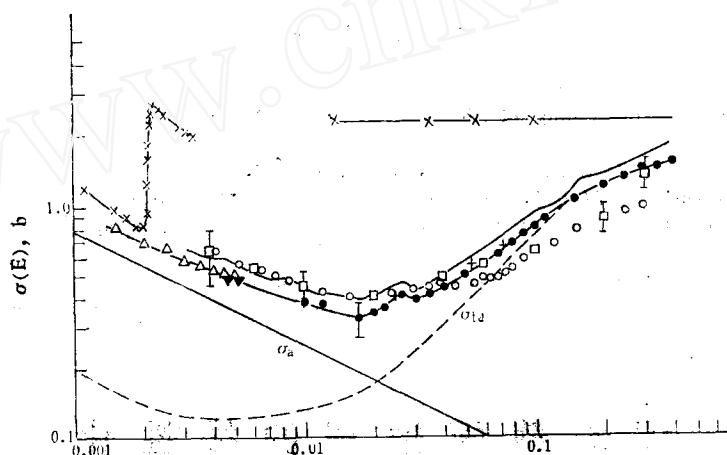


图 2 单晶硅  $E, \text{eV}$  的全截面曲线

□—Shull 结果; ○—Yelon 结果; ◇—BNL-328(多晶); +—Brugger 结果; 本文结果: △—云母作单色器; ▲—石墨作单色器; ●—铍作单色器;  $\sigma_s$ —热漫散射截面;  $\sigma_a$ —吸收截面。

$\text{meV}$  以下的低能区和  $80\text{ meV}$  以上的高能区, Shull、Yelon 和 Brugger 的结果都与本文结果存在着系统的偏离。在低能区, Shull 和 Yelon 的结果都高于本文结果, 最长达 10%; 在 高能区, Shull 和 Yelon 的结果系统地低于 Brugger 新近的结果, 最大差别达 40%, 本文结果介于它们之间, 而较接近于 Brugger 新近的结果。对于以上三方面测量所存在的分歧, 我们估计主要原因是样品的不同。在低能区, 由于全截面主要是吸收截面的贡献, 因此, 由于样品所含杂质不同可能导致吸收截面的较大变化, 因而全截面出现较大偏差; 在 高能区, 热漫散射截面实际上还应包含一定的相干弹性散射的贡献, 因此样品的嵌镶度不同, 将可能导致全截面的变化。

从图 2 还可以看出, 由于单晶硅沿  $[111]$  方向几乎没有 Bragg 散射, 其全截面明显地比多晶 Si 的全截面小得多, 室温下 (约  $15^\circ\text{C}$ )  $20\text{ meV}$  左右的全截面仅为多晶硅的 10% 左右。作为过滤器, 这一点是很有利的。当然单晶 Si 也可能存在 Bragg 散射的少量贡献; 在全截面曲线上出现微小的结构效应, 例如在  $25\text{ meV}$  附近, 本文的实验点和 Brugger 的实验结果都出现一个较明显的结构。显然, 从单晶 Si 作过滤器的角度, 这些微小的结构效

应不是主要的,更为重要的是热漫散射截面 $\sigma_{td}$ 和吸收截面 $\sigma_a$ (如图2实线和虚线所示)。实验结果表明:采用20cm长单晶硅,在室温(15°C)下,可提高热中子与快中子比值15倍左右。由于热漫散射截面的影响,若降低单晶硅的环境温度,可提高热中子的透射率,从而进一步提高“热快比”。

在能量低于2meV之后,中子波长变得足够的长,以至于没有晶面满足Bragg条件,这时,多晶和单晶具有同样的散射性质,其截面应为热漫散射和吸收截面之和。但是,从布鲁克海文实验室的多晶硅的截面数据(BNL-328)(1958)与本文的单晶硅截面相比较发现,多晶的截面比单晶的约大0.14巴。这个差值的来源可能是多晶的热漫散射与单晶的有差异,如多晶的无序性,也可能是杂质影响了吸收截面。

感谢丁大钊同志给本文提出宝贵的意见,感谢石宗仁同志给我们提供实验样品。

### 参 考 文 献

[1] Brokhouse, B. N., *Rev. Sci. Instr.*, **30**,135(1959).  
 [2] Menodi, S. et al., *Proceeding of the Conference on Neutron Scattering*, IAEA, Vienna, **1**,129(1963).  
 [3] Brugger, R. M., *Nucl. Instr. Methods*, **135**,189(1976).  
 [4] Kostorz, G., *Treatise on Materials Science and Technology*, **15**,494(1979).  
 [5] Brugger, R. M., *Proceedings of the Conference on Neutron Scattering*, IAEA, Vienna, **2**,1117(1976).  
 [6] Brugger, R. M., *Nuclear Cross Section for Technology*, **86**(1980).

(编辑部收到日期:1984年3月29日)

## 评价截面数据的线性化

余佩华 刘兆坤

(中国原子能科学研究院)

关键词 线性化,内插方式。

### 一、引 言

在ENDF/B格式的评价核数据库中,列表核截面对于能量可服从以下5种内插方式之一。

1. 在相邻两个能量之间,截面为常数。
2. 能量线性,截面线性。
3. 能量对数,截面线性。
4. 能量线性,截面对数。
5. 能量对数,截面对数。

本工作的目的是,将服从第1,3,4和5的内插方式的评价截面数据转换成服从第2种内插方式的评价截面数据。

RQCS<sup>[1]</sup>和KQCS<sup>[2]</sup>程序是计算热堆群常数和快堆群常数的程序。用这两个程序将ENDF/B格式的评价核数据制作成多群常数时,在计算非弹性散射转移矩阵中存在着次级