

5.0MeV和9.5MeV快中子辐照在GaAs中产生的辐射损伤的正电子湮没研究

王春瑞 罗 起 范志国 李安利 勾振辉 郑胜男 钱嘉裕* 朱升云

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 采用正电子湮没寿命测量方法研究了5.0MeV和9.5MeV快中子辐照在GaAs中产生的辐射损伤。实验结果表明 $10^{11} \sim 10^{12} \text{ n/cm}^2$ 注量的中子辐照只产生单空位缺陷;而 10^{13} n/cm^2 注量的中子辐照产生单空位和双空位缺陷; 10^{18} n/cm^2 注量的9.5MeV中子辐照的GaAs经450—620℃退火产生三空位缺陷。产生的缺陷浓度随中子能量和注量的增大而增大,但缺陷产生率对中子注量更灵敏。

关键词 GaAs, 快中子, 辐射损伤, 缺陷, 正电子湮没

高速、高频GaAs电子元件和GaAs核辐射探测器已广泛用于核工业、航空航天、医学和电子工业等部门。GaAs高能快中子辐照损伤的研究在基础理论和应用技术上均有重要意义。但GaAs中缺陷的机理和物理图象还很不清楚。由于缺乏适当的快中子辐照装置和较好的缺陷微观探测方法,阻碍了GaAs快中子辐照效应与中子能量、中子注量和退火温度关系的系统研究。本文采用正电子湮没寿命技术研究快中子辐照在GaAs中产生的辐射损伤与中子能量、中子注量和退火温度的依赖关系。

1 实验方法

样品是用水平布里支曼方法生长的掺Si(10^{18} /cm^3)N型GaAs单晶沿(110)面切割的 $\phi 12 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 薄片。快中子辐照在中国原子能科学研究院HI-13串列加速器上进行。5.0MeV和9.5MeV的中子由D(d,n) ^3He 反应产生,为了提高中子源强,采用了 $8 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的氘气靶。整个辐照过程用 ^{238}U 裂变室监测辐照中子通量随时间的变化,绝对中子注量用99.99%纯度的 $\phi 12 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ Ni和Al活化片测定。用于5.0MeV和9.5MeV快中子绝对注量测量的活化反应分别为 $^{58}\text{Ni}(\text{n,p})^{58}\text{Co}$ 和 $^{27}\text{Al}(\text{n},\alpha)^{24}\text{Na}$ 。前者的阈能 $E_n = 1.0 \text{ MeV}$,后者 $E_n = 5.5 \text{ MeV}$ 。每个能量点进行三种不同注量的辐照:5.0MeV时 Φ 为 5.2×10^{11} 、 3.3×10^{12} 、 $1.7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$;9.5MeV时 Φ 为 7.0×10^{11} 、 4.8×10^{12} 、 $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ 。辐照在室温下进行,辐照后样品在50—750℃范围内退火,退火在氮气保护下每隔50℃进行一次,退火时间为40min。

正电子湮没寿命谱利用快-快符合BaF₂正电子湮没寿命谱仪测量,谱仪的时间分辨率为195ps。两片相同的样品将814kBq ^{22}Na 正电子源夹在中间,辐照后和经不同温度退火后在室温下进行正电子寿命测量,每个时间谱的累计计数为 10^6 。测量的时间谱用PATFIT程序

* 北京有色金属研究总院

收稿日期:1997-01-30, 修回日期:1997-04-07

分析, 除源成分外, 采用两寿命成分 τ_1 、 τ_2 和 I_2 拟合, 拟合优度均小于1.3。平均寿命由 $\tau = I_1 \tau_1 + I_2 \tau_2$ 计算。

2 结果和讨论

对同批未辐照GaAs也作了正电子湮没寿命测量, 寿命谱用一个寿命成分 τ_1 就可很好地拟合, 并且在50—750℃退火温度范围内不随温度变化, $\tau_1 \sim 230$ ps, 这是正电子在GaAs中的体寿命 τ_b 。

图1和图2分别是5.0MeV和9.5MeV三种注量的中子辐照的GaAs中正电子寿命 τ_1 、 τ_2 和相对强度 I_2 以及平均寿命 $\bar{\tau}$ 随退火温度的变化。快中子辐照在GaAs中可能产生砷空位 (V_{As}) 和镓空位 (V_{Ga})。在GaAs中 V_{Ga} 是受主型空位, 它可以是负电荷或中性态; 而 V_{As} 是施主型空位, 它可以是负电荷态、中性或正电荷态, 决定于费米能级的位置^[1]。中子辐照可以使掺杂的GaAs变成半绝缘型^[2], 在半绝缘型GaAs中 V_{As} 以正电荷态形式存在。由于库仑作用阻止正电子被正电荷态缺陷捕获, 故在中子辐照GaAs中 V_{Ga}^- 和 V_{Ga}^0 是正电子的捕获中心。

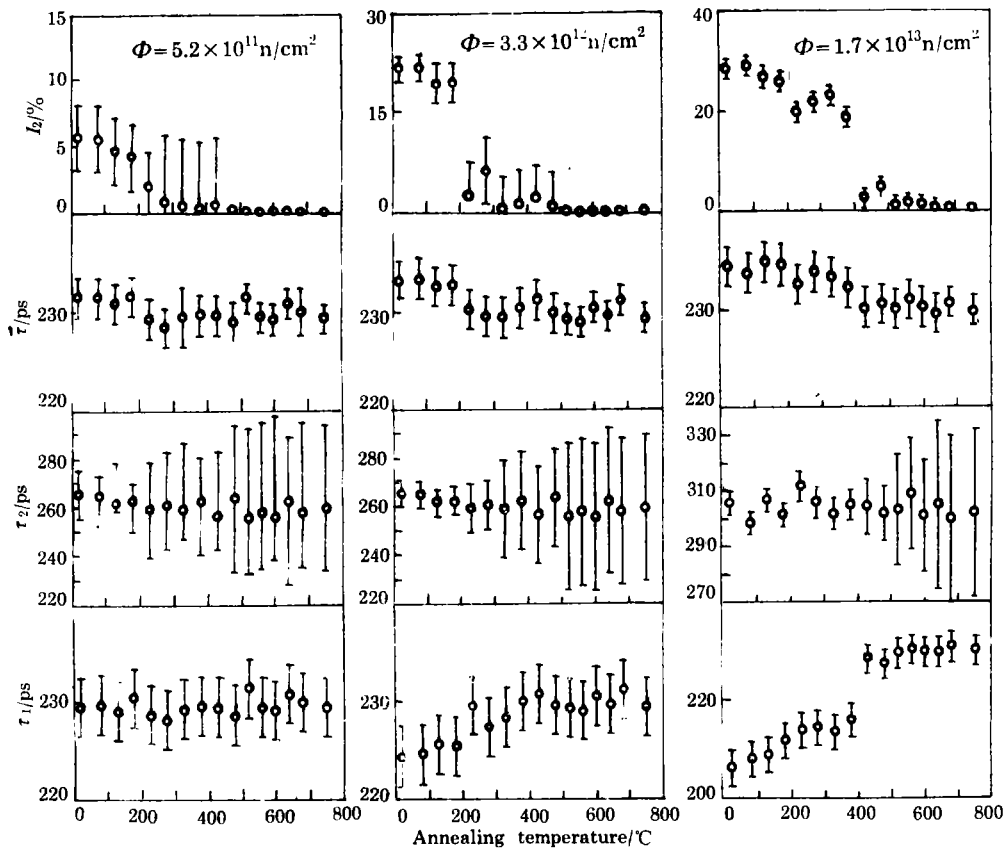


图1 三种注量5.0MeV中子辐照GaAs中正电子寿命 τ_1 、 τ_2 、 $\bar{\tau}$ 和 I_2 随退火温度的变化
Fig.1 Positron lifetimes τ_1 , τ_2 and $\bar{\tau}$ and intensity I_2 as functions of annealing temperature in HB GaAs irradiated by 5.0MeV fast neutrons with different fluences

注量为 $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ 的9.5MeV中子辐照GaAs中 $\bar{\tau}$ 随退火温度的变化清晰地显示出三

个退火台阶, 分别位于250℃、450℃和620℃。在620℃以上 $\bar{\tau}$ 接近 τ_b 值(为230ps)。长寿命成分 τ_2 在450℃以前一直保持在303ps左右, 该值接近双空位捕获正电子湮没寿命。在450℃以上时, τ_2 随温度升高而增大, 在560℃时达~332ps, 这表明空位团已形成, 从寿命值上分析空位团应是三空位。在辐照后 I_2 为37%, 在250℃时减少了7%左右。在450℃时 I_2 迅速降低, 温度再升高逐渐降为零。这一现象表明, 辐照GaAs中~82%的缺陷是双空位。辐照后短寿命成分 τ_1 比 τ_b 低。在350℃以下 τ_1 逐步增大, 由于缺陷的退火, 在400℃以上 τ_1 迅速增大并接近 τ_b 。这一特性可用单态捕获模型解释^[3]: $1/\tau_1 = 1/\tau_b + K$ (其中 K 是正电子的缺陷捕获率), 该式表示产生的缺陷浓度越高, τ_1 就越小。由上述数据可以得出: $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ 辐照在GaAs中产生单空位和双空位缺陷, 单空位缺陷退火温度在250℃, 双空位缺陷退火温度在450℃, 经450—620℃退火在GaAs中产生三空位缺陷, 该缺陷退火温度在620℃, 完全退火发生在750℃。

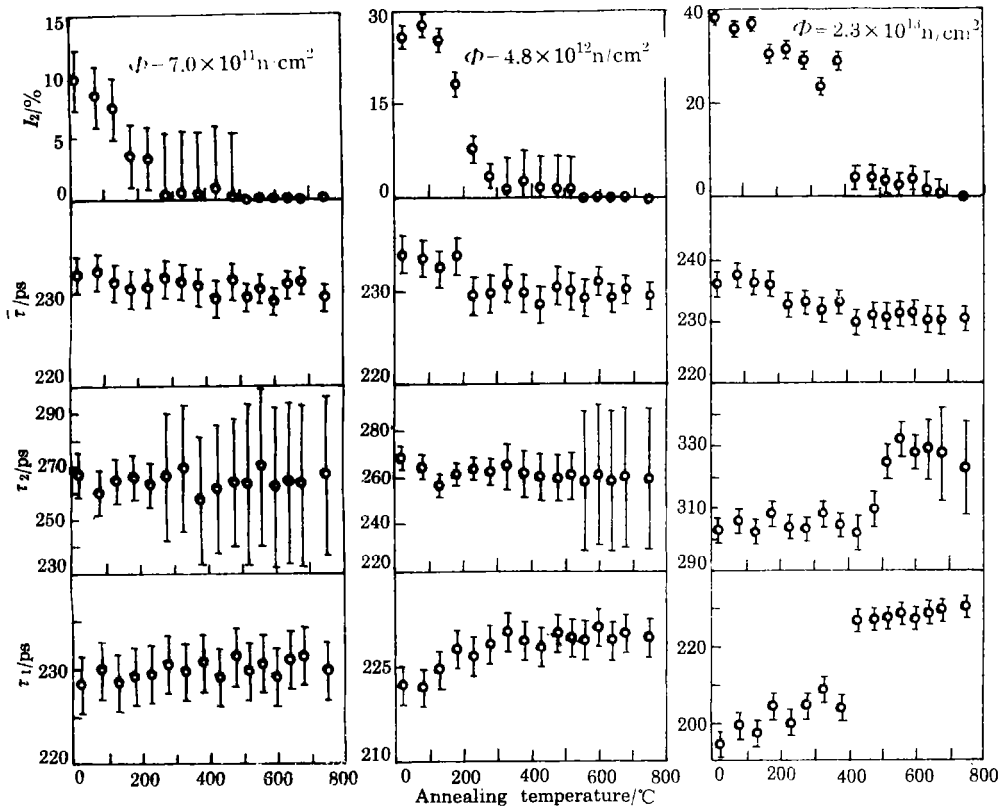


图2 三种注量9.5MeV中子辐照GaAs中正电子寿命 τ_1 、 τ_2 、 $\bar{\tau}$ 和 I_2 随退火温度的变化
Fig.2 Positron lifetimes τ_1 , τ_2 and $\bar{\tau}$ and intensity I_2 as functions of annealing temperature in HB GaAs irradiated by 9.5MeV fast neutrons with different fluences

$4.8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2$ 和 $7.0 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 注量的9.5MeV中子辐照在GaAs中仅产生单空位, 它的退火温度在250℃。在250℃时 $\bar{\tau}$ 接近 τ_b 。单空位的强度随中子注量的增加而增加。

$1.7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ 注量的5.0MeV中子辐照在GaAs中产生单空位和双空位, 它们的退火温度分别在250℃和450℃。与 $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ 注量的9.5MeV中子辐照相比较, 缺陷的强度低

云母钛珠光颜料的正电子寿命谱研究

冯嘉祯 王玉芳 陈洪云
(天津师范大学 天津 300074)

谭俊茹 陈秀增
(天津大学 天津 300072)

摘要 用正电子湮没技术测量了云母钛珠光颜料的正电子寿命和强度与煅烧温度、包覆量等的关系，并与X射线衍射、透射电镜等方法进行了比较。

关键词 正电子湮没，寿命，珠光颜料

云母钛珠光颜料是以云母为基质、用高折射率的 TiO_2 包覆而成的一种复合性功能材料，这种材料在可见光照射下能闪烁生辉，呈现强烈的珍珠光泽。它具有无毒、耐热、化学性能稳定等优点，特别是因其具有灿烂的珠光效应，故被广泛使用在汽车制造业、家用电器、印染及儿童玩具等方面。

我们用正电子湮没技术测量了正电子寿命和强度与煅烧温度、包覆量等的关系，并与X射线衍射、透射电镜等方法作了比较，为研究该材料的形成机理提供了一种新的手段。

1 实验原理

1.1 白云母的结构分析

TiO_2 涂层在云母上有很强的附着力，这一现象用简单的化学沉积和物理吸附是无法解释的。作为基质的白云母为层状硅酸盐晶体结构，其分子式为 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ，它的结构示意图如图1所示。在结构层中，有1/4的硅原子为四面体配位的铝所置换，层内可视为包括 $\text{AlO}_2(\text{OH})_4$ 八面体层夹心于 SiO_4 四面体层之间，通过它们共用的氧原子结合在一起。层内各原子以共价键相连接，键能大，结构紧密。由于部分硅原子被铝原子取代而带负电性。而层间有一层起平衡电荷作用的金属 K^+ ，层与层之间是以微弱的离子键结合^[1]，因此云母易按某一方向解理，根据离子键的特点，在云母表面上的正电荷除被硅氧四面体的负电荷部分抵消外，仍有“剩余键力”伸向空间^[2]，构成对异性物质的吸附倾向和对正电子的斥力。 TiO_2 的晶体结构为四方晶系，Ti原子的配位数为6，6个氧原子配位在Ti原子的周围形成八面体结构，两个相邻八面体通过共用水平棱连接。因此在水平方向上 O^{2-} 密度较其它方向大，具有一定的负电性，当水合 TiO_2 形成并沉积到云母表面时，即可受到表面“自由价力”的作用形成化学吸附，构成牢固的复

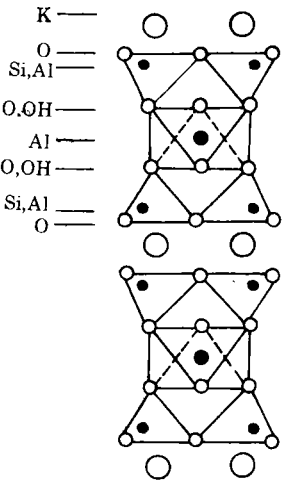


图1 白云母结构示意图

Fig.1. Structure of white mica

收稿日期:1997-01-30, 修回日期:1997-05-07