

120keV 的 N⁺ 注入 SiC 薄膜的光谱特性研究*

宋银¹⁾ 金运范 王志光 张崇宏 赵志明 段敬来

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 文中主要研究了 120keV 的 N⁺ 注入后 SiC 薄膜样品的光致发光谱(PL)和傅立叶红外光谱(FTIR)特性. 从红外光谱可以看到有明显得碳氮单键、双键、三键等新结构生成. 从 PL 光谱则发现 365nm 处的发光峰明显增强, 这表明 N⁺ 注入使得带隙中深的能级辐射中心复合的效率大幅度提高.

关键词 SiC N⁺ 注入 光致发光谱 傅立叶红外光谱

1 引言

碳化硅(SiC)是一种宽带隙半导体材料, 室温下带隙为 2.2eV(3c-SiC)—3.3eV(4H-SiC), 具有优良的热稳定性和化学稳定性、较大热导率、高电子迁移率、高电子饱和漂移速度、高击穿场强和低介电常数等优点, 可用来制造用于强辐射、高温、高频、大功率和腐蚀性等极端恶劣条件下的半导体电子器件; 同时也是一种较为理想的短波长发光材料, 可用于制备紫外探测器, 在光电子器件中具有广阔的应用前景.

SiC 的一个显著的特征就是它以多种晶型出现, 因沿 c 轴方向 Si-C 双原子层堆垛顺序的不同, SiC 的晶体结构可以为立方(3c)、六方(2H, 4H, 6H, ...)、菱方(15R, 21R, ...)等 200 多种. 在考虑实际杂质的掺杂以及电子输运性质时, 晶格整体对称性的影响尤为重要. 对各种晶体结构的 SiC 的硅原子或碳原子来说, 它们的第一近邻是完全相同的, 但其第二近邻和第三近邻却有不同的配位结构. 导致了不等价晶位的产生, 氮原子杂质在 SiC 中占据碳的晶位, 是浅施主杂质, 由于除了 3c-SiC 外, 其他结构的 SiC 都同时具有不同数量的立方晶位和六方晶位. 氮原子可以占据这些晶位中的任何一个, 因而不同晶位的氮原子杂质具有不同的对称性和近邻位置,

表现出各异的电学特性.

Yang 等人^[1] 利用霍尔效应和 FTIR 吸收, 通过对不同掺氮浓度的 6H-SiC 样品进行了分析, 得出了氮施主的电离能及其各激发态的束缚能. 目前, 关于离子注入 SiC 的研究论文并不多, 大都集中在表面形貌、相结构和表面成分等方面. 本文主要分析 120keV N⁺ 注入 SiC 薄膜后的光致发光(PL)和红外光谱的特性.

2 实验过程

2.1 射频共溅射复合靶制备薄膜

在 JS-450 型溅射系统上用射频(13.56MHz)溅射镀膜, 采用复合靶共溅射方法. 即在纯度为 99.99% 的圆形石墨大靶上均匀平铺上一些纯度为 99.99% 多晶硅片组成复合靶作为溅射源, 高纯 Ar 气作为溅射气体, 预真空为 1.33×10^{-3} Pa, 溅射总气压为 2Pa, 电压为 3kV, 功率控制在 400—600W. 衬底采用单晶硅片和玻璃片, 用循环水冷却, 温度保持在 30—50℃ 左右, 衬底与靶之间的距离约为 7cm 由于 Si 和 C 的溅射淀积速率不一样, 通过改变多晶 Si 片数目的方法, 以调整 Si 片与石墨靶的有效面积之比为不同值, 制备出了特性均匀 SiC 膜.

2003-11-11 收稿

* 国家自然科学基金(10125522)和中国科学院西部之光基金资助

1) E-mail: impsy@163.com

淀积膜的恒温退火过程为:将一个较大的、膜层均匀的样品分成若干小片,分别在N₂保护下恒温退火30min,然后缓慢冷却到室温,以避免由于快速冷却引起的冷缺陷。退火温度选择为600℃。

2.2 120keV N⁺注入SiC薄膜

在沉积薄膜上用MEVVA离子源进行N离子注入。离子能量为120keV,流强为35μA,样品1#,2#,3#的注入剂量分别为 1×10^{16} , 5×10^{16} , 1×10^{17} N⁺/cm²,注入靶室真空度 8×10^{-4} Pa,衬底温度保持室温。

3 实验结果及分析

经N⁺注入后的SiC样品,在室温下进行了傅立叶红外光谱和光致发光谱分析。

3.1 傅立叶变换红外光谱(FTIR)

红外光谱用美国PerkinElmer公司Spectrum GX型谱仪测得。图1示出了样品的IR谱,波数3000—3500cm⁻¹间的吸收是(N-H)_s, (N-H₂)_s模式引起的,在1#,2#,3#样品中2165cm⁻¹新增峰应是C≡N^[2],1733cm⁻¹是C=C^[3],在1#,2#,3#样品中1650cm⁻¹新增峰应是C=N振动吸收峰,1500cm⁻¹附近的应是(N-H₂)_a模式,1300cm⁻¹附近的(C-H_n)_a吸收峰,650—1000cm⁻¹范围内的吸收是各种键的振动引起的,根据分析它应该是(Si-C)_s, (Si-N)_s, (Si-H), (N-H)。1347cm⁻¹出现了C-N的振动吸收峰,1107cm⁻¹的Si-C的LO声子振动和Si-O振动有关,

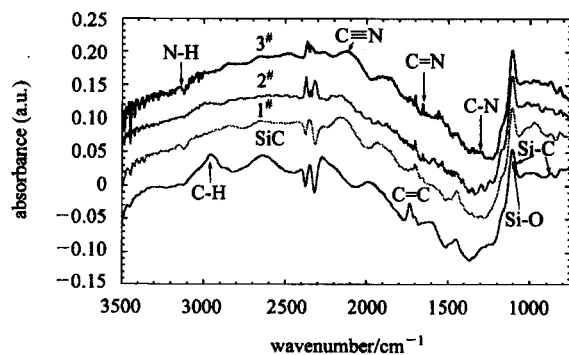


图1 注入N离子的SiC薄膜的傅立叶红外光谱

817cm⁻¹是Si-C的TO声子吸收峰^[4,5]。

可以看出,当N离子未注入时,2900cm⁻¹附近有明显的(C-H)吸收,而当N增加时,2900cm⁻¹附近的吸收峰变得不明显而(N-H)_s吸收峰明显。也可以看出,随着N离子注入,1733cm⁻¹的C=C键被破坏而取而代之的是C=N。

3.2 光致发光谱(PL)

用岛津公司的RF-5301PC荧光光谱仪测量了在220nm波长激发下的SiC材料与注入N⁺后的变化情况。从图2可以清楚地看到在365nm出现一个发光峰,考虑到SiC是一种间接带隙半导体,其跃迁复合发光时必须要有晶格参与动量交换,即有声子参与。这是一个二级过程,发光几率较小,退火样品相对沉积膜出现一定的晶化,其中含有许多纳米尺寸的SiC晶粒。根据量子限制效应,这种纳米晶粒的存在不仅使带隙展宽,而且使能带结构具有直接带隙的特征,注N使带隙中深的辐射中心复合的效率大幅度提高,且发光伴随着蓝移现象。

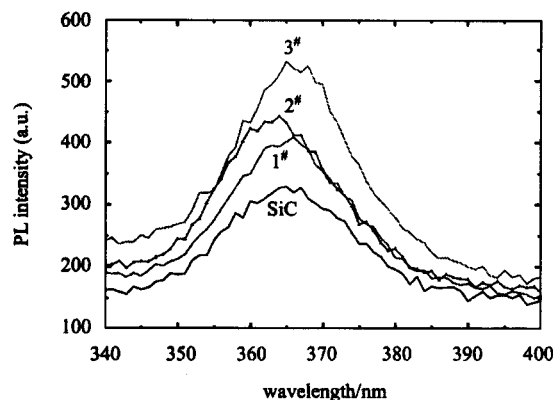


图2 在SiC薄膜上注入N离子的光致发光谱

4 结论

综上所述,注N⁺使带隙中深的辐射中心复合的效率大幅度提高,极大的增强了其发光强度。从红外光谱可以清楚地看到碳氮单键、双键、三键等新结构产生,由于碳氮单键构成的化合物C₃N₄有其超强的物理和化学特性,其合成具有极其重要的现实意义。

参考文献 (References)

- 1 YANG C Y et al. Amorphous and Crystalline Silicon Carbide IV Springer Verlag, Berlin, 1992, 129
- 2 Chowdhury A K M S et al. Thin Solid Films, 1997, **130**:308—309
- 3 Popov C, Plass M F, Kassing R et al. Thin Solid Films, 1999, **355**—356:406—411
- 4 WANG Y X et al. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, **22**(10): 1277—1283
- 5 WANG Y Y, XUE H, GUO Y P et al. Chinese Journal of Semiconductors, 1999, **20**(2):1277—1283

Study of N⁺ Implanted SiC Thin Films by FTIR and PL Spectroscopy*

SONG Yin¹⁾ JIN Yun-Fan WANG Zhi-Guang ZHANG Chong-Hong
ZHAO Zhi-Ming DUAN Jing-Lai

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract SiC films were deposited on Si substrates by RF co-sputtering of the Si and C compound target and implanted by 120keV N ions. The structure, optical property of thin films were studied by Fourier transform infrared spectrum (FT-IR) and photoluminescence (PL) spectroscopy. The obtained results suggested that carbon nitride single, double and triple bonds are formed in the N ions implanted SiC films, and the luminescence intensity depends strongly on the quantity of N ions.

Key words SiC thin films, N⁺ implantation, PL spectroscopy, FTIR

Received 11 November 2003

* Supported by NSFC(10125522) and West Light Foundation of The Chinese Academy of Sciences

1) E-mail: impsy@163.com