

文章编号: 1000-7032(2010)03-0373-05

生长温度对 6H-SiC 上 SiCGe 薄膜发光特性的影响

李连碧, 陈治明*

(西安理工大学 电子工程系, 陕西 西安 710048)

摘要: 利用低压化学气相淀积工艺在 6H-SiC 衬底成功制备了 SiCGe 薄膜。通过光致发光(PL)谱研究了生长温度对 SiCGe 薄膜发光特性的影响。结果表明:生长温度为 980, 1 030, 1 060 °C 的 SiCGe 薄膜的室温光致发光峰分别位于 2.13, 2.18, 2.31 eV 处;通过组分分析和带隙计算,认定该发光峰来自于带间辐射复合,证实了改变生长温度对 SiCGe 薄膜带隙的调节作用。同时,对 SiCGe 薄膜进行了变温 PL 测试,发现当测试温度高于 200 K 时,发光峰呈现出蓝移现象。认为这是不同机制参与发光所造成的。

关键词: SiCGe 薄膜; 低压化学气相沉积; 生长温度; 光致发光

中图分类号: O484.1; O482.31

PACS: 78.55.Or

PACC: 7855H

文献标识码: A

1 引 言

SiC 材料具有宽禁带、高临界电场、高热导率和高的载流子饱和速率,这使得 SiC 器件可以在高温、大电流、高器件密度下安全工作。同时 SiC 具有硬度高、热稳定性好、耐腐蚀等优异的理化特征,使得 SiC 材料及 SiC 基的其它化合物半导体材料在高温器件、抗辐射耐腐蚀器件和高频大功率器件等极端电子学领域具有广阔的应用前景,显示出其它材料无法替代的优越性^[1-3]。目前,组分因 SiC 的宽禁带引起的对可见、红外光的不敏感性限制了 SiC 材料在光电集成上的应用。在 SiC 衬底上生长 SiCGe 薄膜,可以通过调节 SiCGe 中 Ge 组分的含量来调节 SiCGe 材料的禁带宽度,实现对近红外和可见光的较强吸收^[4,5],另外, Roe 等^[6]曾采用离子注入法在 p 型 4H-SiC 衬底上制作了 4H-SiCGe 薄膜,并在此基础上制成了台阶状的 pnp 型 SiC/SiCGe/SiC 结构的 HBT 器件。该新型 HBT 中 SiCGe 层的 Ge 含量仅为 0.34%,与常规的 SiC 同质结晶体管相比,可使最大电流增益和厄利电压分别增加 37% 和 88%^[6]。由此可见研究 SiCGe 材料具有相当高的实用价值。但是在 SiC 衬底上制备 SiCGe 薄膜时,要想兼顾高 Ge 组分和较好的晶体质量是非常困难的。如果

能解决这个难题,便会极大地促进 SiC 材料在电力电子器件和光电子器件领域的应用。

目前,生长单晶 SiCGe 薄膜的技术尚处在开发初期,而且大多数关于 SiCGe 三元合金的研究都集中于使用 Si 衬底,在 SiC 衬底上进行 SiCGe 三元合金异质外延生长的研究工作很少。此前的报道中,我们主要研究了 SiC 衬底上 SiCGe 薄膜的制备工艺和结构特征^[7,8]。本文主要报道了不同温度生长的 SiCGe 薄膜的光致发光特性,研究了薄膜结构对光致发光特性的影响。

2 实 验

SiC 衬底经过标准的 RCA 清洗处理后放入 LPCVD 生长室中。Si, Ge, C 的气源分别采用硅烷(SiH₄, 10% 氢气稀释)、锗烷(GeH₄, 5% 氢气稀释)和丙烷(C₃H₈, 10% 氢气稀释),采用氢气作为载气,生长压力为 260 Pa,生长时间为 2 h,薄膜的生长速率为 0.5 μm/h,具体情况请参考文献^[8]。

采用日本 JEOL 公司的 JSM-6700F 型扫描电子显微镜测量了 SiCGe 薄膜的表面形貌。SiCGe 薄膜的光致发光谱采用 He-Cd 激光器 325 nm 线激发,在 10 ~ 300 K 温度范围内测量而得,激发光输出功率为 10 mW。SiCGe 薄膜的厚度相近,

收稿日期: 2009-12-09; 修订日期: 2010-01-09

基金项目: 国家自然科学基金(60576044); 西安理工大学优秀博士学位论文研究基金(602-210809)资助项目

作者简介: 李连碧(1981-), 男, 陕西安康人, 博士, 主要从事新型半导体材料与器件的研究。

*: 通讯联系人; E-mail: Chenzm@xaut.edu.cn, Tel: (029)82312136

光致发光谱测试条件相同。

3 结果与讨论

图 1 是外延温度 980, 1 030, 1 060 °C 生长的 SiCGe 薄膜的 SEM 图, 样品其它的外延条件均完全相同。从图中可以观察到, 外延温度为 980 °C 的样品具有两种不同的岛状结构特征, 一种是规则的球形结构, 另一种是三角型层状堆叠结构。前者形状规则, 在样品中占主导地位, 其直径在 0.3 ~ 1.0 μm 之间。当外延温度升高至 1 030 °C 时, 样品表面仅能观察到少量的球形岛存在, 大部分的岛为三角状层状堆叠岛, 如图 1(b) 所示。外延温度为 1 060 °C 的样品已经观察不到球形岛, 取而代之的是三角型层状堆叠结构。我们认为 SiCGe 岛状特征的改变是由于薄膜中 Ge 组分的变化所造成的。由于高温时, 立方 SiC 相比 SiCGe

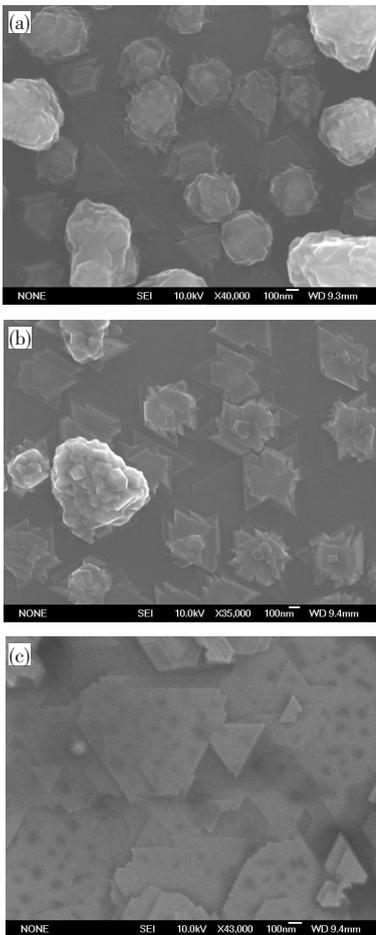


图 1 不同生长温度的 SiCGe 薄膜的 SEM 图 (a)980 °C; (b)1 030 °C; (c)1 060 °C。

Fig. 1 SEM images of the SiCGe thin films grown at different temperatures, (a)980 °C; (b)1 030 °C; (c)1 060 °C.

相更为稳定, 随着温度的升高, SiCGe 逐渐向 SiC 转变, 替位式的 Ge 原子的数量会有所下降, 从而使 SiCGe 外延层和 SiC 衬底间的晶格失配度减小, 于是薄膜的生长模式由 3D 球形岛转变为 2D 三角岛生长, 薄膜的结晶质量也得到了提高。SiCGe 薄膜的岛状结构的具体分析见文献[9]。

为了了解 SiCGe 薄膜的组分情况, 还对生长温度为 1 030 °C 的样品进行了 EDS 测试, 如图 2 所示。该样品中的 Si、C、Ge 组分分别为 43.23%、50.17% 和 2.24%。测试中也发现有少量的 O 组分存在, 其原因可能是样品在空气中放置氧化所造成的。借助 Richard A. Soref 的理论^[10], 可以根据 SiCGe 薄膜中的 Ge、C 组分来计算其禁带宽度。计算可得, 该样品禁带宽度在 2.2 eV 左右。且 C 组分越大, Ge 组分越小, SiCGe 薄膜的禁带宽度越大。

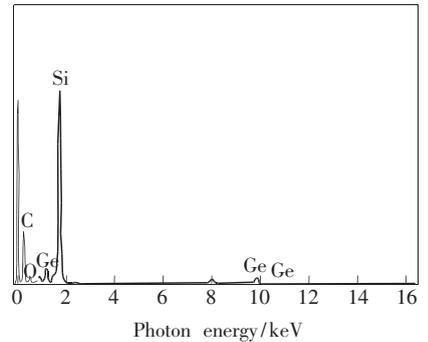


图 2 生长温度为 1 030 °C 的 SiCGe 薄膜的 EDS 结果
Fig. 2 EDS results of thin SiCGe film grown at 1 030 °C

有了对生长温度为 1 030 °C 的样品的 EDS 测试结果和对其禁带宽度的估算, 我们可以对上述生长温度分别为 980, 1 030, 1 060 °C 的样品的 PL 结果进行分析。图 3 是生长温度不同的三个样品的室温 PL 分析结果。由此可知, 生长温度不同的三个样品都具有光致发光现象, 其 PL 峰位分别位于 2.13, 2.18, 2.31 eV。我们观察到生长温度为 1 030 °C 的 SiCGe 薄膜的发光峰恰好位于 2.18 eV 左右, 这和我们估算的该温度下的 SiCGe 薄膜禁带宽度相当接近。考虑到禁带宽度估算中不可避免的误差, 可以认为该峰即为 1 030 °C 生长的 SiCGe 薄膜的带间辐射复合峰。随着生长温度的升高, 样品的球形岛特征减弱, 三角岛特征逐渐增强, PL 峰位也从 2.13 eV 蓝移到 2.31 eV 左右。由上面的分析可知, 该峰来自于 SiCGe 薄膜的带间复合。也就是说, SiCGe 材料的带宽从

2.13 eV左右变化到2.31 eV附近。其原因应该是:高温时,替位式的Ge原子的数量下降,从而造成了薄膜材料禁带宽度的增大。该结果证实了SiCGe材料的带隙可调性,也证实了改变生长温度对带隙的调节作用。对比国内外SiCGe薄膜的研究结果^[6,11~13],接近0.2 eV的带隙变化是相当大的,这对于调节SiCGe薄膜的带隙,使其弥补SiC对可见光不敏感的缺陷,促进SiC材料在光电子领域的应用是很有意义的。当然,这和本文中SiCGe薄膜相对较高的Ge组分有关。同时,除了上述PL峰位的变化外,PL峰的相对强度也发生了变化。在三个样品中,生长温度最低,具有球形岛结构的980 °C生长的样品的PL峰最强,而其他两个三角岛特征明显的样品的PL峰都较弱。按照一般规律,晶体质量较高的样品其PL峰应该较强。通过上面分析,1 060 °C生长的SiCGe薄膜的晶体质量应该更好,但是,PL测试结果正好相反。所以,我们认为980 °C生长的样品较强的发光是其球形岛特征所造成的,球形岛特征有利于改善发光特性。这可能与具有球形岛特征的样品中存在大量的晶界等缺陷有关。

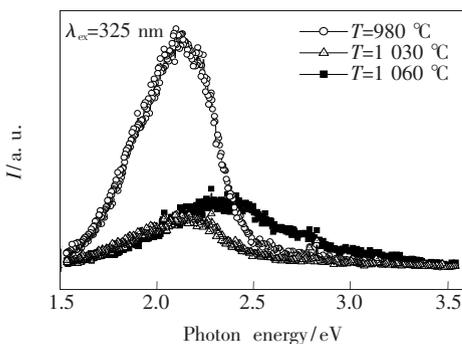


图3 不同温度生长的SiCGe薄膜的室温PL测试结果

Fig.3 PL spectra at room temperature of the thin SiCGe films grown at different growth temperatures

为了进一步了解SiC衬底上SiCGe薄膜的光学性质,我们也对温度为1 030 °C生长的SiCGe薄膜进行了变温PL测试。图4是温度为1 030 °C生长的SiCGe薄膜变温PL测试结果,测试温度为10~300 K。图中可以清楚地观察到发光峰的强度随着测试温度的升高不断减弱。当测试温度低于200 K时,PL强度只有微小减弱。测试温度进一步升高到200 K时,其发光峰强度有了非常明显的减弱。这应该是测试温度升高声子能量相应提高造成的。同时,发光峰的峰位也发

生了明显蓝移(从1.8 eV蓝移到2.2 eV附近)。我们知道,测试温度的升高会造成禁带宽度的减小,一般材料中随着测试温度的升高发光峰都是红移的。但是,由于我们制备的SiCGe薄膜的掺杂浓度较高($>10^{17} \text{ cm}^{-3}$),测试温度的升高的确有可能造成带间跃迁光谱带向高能方向漂移,这是由于较高温度允许较高能量光子发射跃迁的原因。但是,约0.4 eV的显著蓝移更有可能是不同机制参与发光所造成的。我们认为,温度高于200 K时主要是发光峰来自于带间辐射复合,而测试温度低于200 K时,发光则是和杂质或缺陷能级有关。这造成了测试温度高于200 K时发光峰明显的蓝移现象。

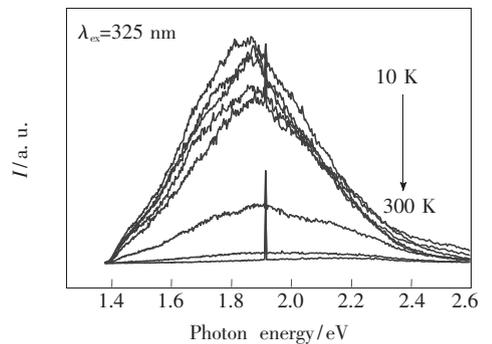


图4 生长温度为1 030 °C的SiCGe薄膜的变温PL测试结果

Fig.4 Temperature-dependent PL spectra of SiCGe thin film grown at 1 030 °C

4 结 论

利用LPCVD工艺在6H-SiC衬底成功制备了SiCGe薄膜。通过PL和SEM研究了生长温度对SiCGe薄膜发光特性和结构的影响,探讨了薄膜的发光特性与结构之间的关系。结果表明,生长温度分别为980,1 030,1 060 °C的SiCGe薄膜具有球形岛和三角岛两种结构形貌,室温光致发光峰分别位于2.13,2.18,2.31 eV处,通过对SiCGe薄膜的组分分析和带隙计算,认定该发光峰来自于SiCGe薄膜的带间辐射复合,证实了改变生长温度对SiCGe薄膜带隙的调节作用。同时,也对SiCGe薄膜进行了变温PL测试,结果发现当测试温度高于200 K时,发光峰呈现出蓝移现象。我们认为这是不同机制参与发光所造成的。温度较高时,带间辐射复合占主导地位,而测试温度低于200 K时,发光则是与杂质和缺陷能级有关。

参 考 文 献:

- [1] Wang Li, Zhao Yane, Zhao Fuli, *et al.* Structure and photoluminescence properties of heterostructure SiC/Si prepared by MEVVA ion implantation at room temperature [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2005, **26**(5):636-640 (in Chinese).
- [2] Jin Hua, Li Jintao, Zhang Ligong, *et al.* Optical properties of SiC nanorods with sandwich structure synthesized by pyrolysis of polymer [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2009, **30**(2):219-222 (in Chinese).
- [3] Kang Chaoyang, Zhao Chaoyang, Liu Zhengrong, *et al.* Improvement of the structure and photoelectrical properties of ZnO films based on SiC buffer layer grown on Si(111) [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2009, **30**(6):807-811 (in Chinese).
- [4] Lu Z, Chen Z M, Pu H B. SiCGe/SiC heterojunction and its MEDICI simulation of optoelectronic characteristics [J]. *Chin. Phys. B*, 2005, **14**(6):1255-1258.
- [5] Chen Z M, Pu H B, Lu Z, *et al.* A new design of the SiC light-activated Darlington power transistor [J]. *Microel. Eng.*, 2006, **83**(1):189-192.
- [6] Roe K J, Katulka G, Kolodzey J, *et al.* Silicon carbide and silicon carbide:germanium heterostructure bipolar transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**(14):2073-2075.
- [7] Li L B, Chen Z M, Lin T, *et al.* Island-growth of SiCGe films on SiC [J]. *Chin. Phys. B*, 2007, **16**(11):3470-3474.
- [8] Chen Z M, Pu H B, Wo L M, *et al.* Hetero-epitaxial growth of SiCGe on SiC [J]. *Microel. Eng.*, 2006, **83**(1):170-175.
- [9] Li L B, Chen Z M, Lin T, *et al.* Structure analysis of SiCGe films grown on SiC [J]. *Surf. Interface. Anal.*, 2008, **40**(5):935-938.
- [10] Soref R A. Optical band gap of the ternary semiconductor $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ [J]. *J. Appl. Phys.*, 1991, **70**(4):2470-2472.
- [11] Amour A St, Liu C W, Sturm J C, *et al.* Defect-free band-edge photoluminescence of pseudomorphic $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ alloys [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **67**(26):3915-3917.
- [12] Orner B A, Olowolafe J, Roe K J, *et al.* Band gap of Ge rich $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(17):2557-2559.
- [13] Boucaud P, Francis C, Julien F H, *et al.* Band-edge and deep level photoluminescence of pseudomorphic $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$ alloys [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(7):875-877.

Influence of Growth Temperature on Photoluminescence of Thin SiCGe Films on 6H-SiC

LI Lian-bi, CHEN Zhi-ming

(Department of Electronic Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: SiC is an ideal material for manufacturing devices for use in power electronics, high temperature electronics and microwave communication. However, due to its wide band gap, SiC is not sensitive to long-wavelength light ranging from most of the visible to the infrared region of the optical spectrum. This essentially limits its application for detection of visible and infrared light. A promising way to solve this problem is to adopt an SiCGe/SiC heterojunction structure, in which the ternary alloy SiCGe with appropriate composition is used as a light-absorption layer. In this paper, the ternary alloy SiCGe thin films were grown on 6H-SiC substrates in a conventional hot-wall CVD system. The influence of growth temperature on the photoluminescence (PL) and the structure of thin SiCGe films was investigated by PL spectroscopy and scanning electron microscope. The relation between the PL characteristics and structure of thin SiCGe films is discussed. The PL spectra of the thin SiCGe films grown at different growth temperatures (980, 1 030 and 1 060 °C) exhibit emis-

sion peaks located at 2.13, 2.18, 2.31 eV, respectively. The component analysis and band-gap calculation of thin SiCGe films showed the PL peak comes from the radiative recombination between energy bands. And the regulatory effect of changing growth temperature on band gap of the thin SiCGe films is confirmed. The temperature-dependent PL spectra showed that the peak has an obvious blue-shift when the testing temperature increases higher than 200 K. It is due to different luminescent mechanisms. When the testing temperature is under 200 K, photoluminescence is related to the impurity and defect energy levels; as the testing temperature is higher, the radiative recombination is dominant in the luminescent mechanisms.

Key words: SiCGe; LPCVD; growth temperature; photoluminescence

CLC number: O484.1; O482.31

PACS: 78.55.Or

PACC: 7855H

Document code: A

Received date: 2009-12-09

向您推荐《液晶与显示》——中文核心期刊

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国惟一的液晶学科和显示技术领域综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国光学光电子行业协会液晶专业分会和中国物理学会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新能力,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态,是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果,进行国际交流的平台。本刊是英国《科学文摘》(INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊。

《液晶与显示》征集有关各类显示材料及制备方法、液晶显示、等离子体显示、阴极射线管显示、发光二极管显示、有机电致发光显示、场发射显示、微显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他显示、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用、显示材料和器件的测试方法与技术、成像技术和图像处理等研究论文。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。同时,竭诚欢迎社会各界洽谈广告业务、合作组织技术交流与信息发布活动。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价30元。国内邮发代号:12-203;国外发行代号:4868BM。广告经营许可证号:2200004000068。

地址:长春市东南湖大路3888号

《液晶与显示》编辑部

邮编:130033

电话:(0431)86176059

E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn

国内统一刊号:CN 22-1259/04

国际标准刊号:ISSN 1007-2780

国际刊名代码(CODEN):YYXIFY

传真:(0431)84695881

网址:www.yjxs.com