

# 纳米 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/a-Si 多层膜室温光致发光分析\*

牛华蕾 李晓娜† 胡 冰 董 闯 姜 辛

(大连理工大学材料科学与工程学院, 三束材料改性国家重点实验室, 大连 116024)

(2008 年 3 月 31 日收到, 2008 年 11 月 4 日收到修改稿)

采用射频磁控溅射的方法, 在 Si(100) 基片上制备了纳米  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si 多层结构, 利用 X 射线衍射、透射电子显微镜、光致发光光谱等表征技术, 研究了  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si 多层结构的结构、成分和光致发光特性. 研究表明: 利用磁控溅射法得到的 Fe/Si 多层膜, 室温下能够检测到  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 的 1.53  $\mu\text{m}$  处光致发光信号; 未退火时多层膜是(非晶的 FeSi<sub>2</sub> +  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒)非晶 Si 结构, 退火后则是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒(晶体 Si + 非晶 Si)结构, 退火前后样品有相同的 PL 信号强度, 说明非晶的 FeSi<sub>2</sub> +  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒和  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒可以产生同样的发光性能. 实验测出 1.53  $\mu\text{m}$  处 PL 信号也进一步证明了非晶 FeSi<sub>2</sub> 的半导体性能.

关键词:  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>, 磁控溅射, XRD, 光致发光光谱

PACC: 6855, 8115C, 3220R, 7855

## 1. 引 言

近来, 人们对半导体硅化物材料产生了很大的兴趣<sup>[1,2]</sup>, 特别是具有直接带隙且比硅的带隙宽度窄的. 其中  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 作为一种很有前途的光电材料而备受关注. 众所周知,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 是 Kankyo 半导体(特别是环境友好型)<sup>[3,4]</sup>, 许多半导体材料诸如 GaAs, InP, CdTe 都含有一些对人体健康有害的元素, 用这些元素做成的器件会对我们的生活和环境造成不利的影 响, 因此从环保和生态学的角度考虑, Fe, Si 等既含量丰富又安全的元素合成的化合物更适合于制成各种器件<sup>[5]</sup>. 而且更重要的是,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 具有正交晶体结构, 直接带隙 0.85—0.87 eV, 对应的波长是 1.3—1.5  $\mu\text{m}$ , 用空穴导电, 质量好的薄膜在 50 K 迁移率为 13000  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 超过了电子迁移率<sup>[6]</sup>. 因此该材料有希望被广泛应用于光电子器件、太阳能电池、红外探测器等领域<sup>[7-9]</sup>.

目前, 已经有大量的关于用不同方法在硅衬底上生长  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 薄膜的报道, 研究的重点之一是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 薄膜的光致发光现象. 有关  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 薄膜的光致发光(PL)机制长期以来一直存在着争议. 比如  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 能带的性质问题和半导体中载流子再结合的

振子强度的问题, 1.54  $\mu\text{m}$  处的 PL 信号的来源问题<sup>[10,11]</sup>. 奇怪的是, 高晶化的连续的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 薄膜只观察到微弱的 PL 信号<sup>[12]</sup>, 而埋于 Si 基体中  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒能检测出强的发光信号. Spinella 等<sup>[10]</sup>利用离子注入法制备了埋入 Si 基体中的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒, 检测发现在 17 K, 1.54  $\mu\text{m}$  处有一个很强的光致发光峰, 进一步证明了这个 PL 峰来源于处于深层区 320 nm 的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 大颗粒(直径 > 100 nm), 而处于浅层区的小颗粒和延伸的缺陷并没有产生 PL 信号. 2004 年, Ozawa 和 Ohtsuka 等<sup>[13]</sup>制备 Si/ $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒/Si 异质结, 其中反应沉积生长  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 和分子束外延生长 Si, 研究发现, 1.5  $\mu\text{m}$  处的 PL 峰的强度随埋入 Si 中的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒的增大而增大. 然而 Suemasu 等<sup>[14]</sup>利用类似的方法制备了埋入状的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒, 观察到直径约 100 nm 的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 球有 PL 信号, 而直径大约或者大于 150 nm 时没有 PL 信号. 迄今为止,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 的光电性能还没有一个定论.

本文采用射频磁控溅射方法, 在 Si(100) 基片上沉积 Fe/Si 多层膜, 合成纳米  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si 多层结构, 利用 X 射线衍射、透射电子显微镜、光致发光光谱等表征技术, 研究了  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si 多层结构的结构、成分和室温光致发光特性.

\* 大连市科学技术基金(批准号 2005J22JH043)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: lixiaona@dlut.edu.cn

## 2. 实验方法

Fe/Si 多层膜的制备是在 JGP450 型超高真空多功能磁控溅射设备上采用射频磁控溅射方式完成的.磁控溅射靶是直径为 60 mm 的金属铁靶和非金属硅靶,纯度均优于 99.99%.反应溅射的气体为纯的优于 99.99% 的 Ar 气体,其表观质量流量为 30 sccm. Fe/Si 多层膜的生长基片为(100)取向的单晶 Si 片,溅射时基片的温度大约为 50°C. 溅射前对基片进行处理,方法为将 Si 片放入丙酮、乙醇和去离子水中各超声波清洗 10 min,用 5% 的 HF 酸蚀刻 2 min,以便去除 Si 基体表面的本征氧化层;经去离子水冲净后 N<sub>2</sub> 气吹干,快速放入真空室.两个溅射靶交替沉积,基片与溅射靶的间距为 70 mm,铁靶与硅靶的射频溅射功率分别为 85 和 80 W.本底真空优于  $5.0 \times 10^{-4}$  Pa,工作气压为 0.5 Pa.样品沉积层设计厚度及周期分别为 Si(100 nm)[Fe(20 nm)]Si(100 nm)<sub>1</sub>/Si(100 nm)Si(50 nm)[Fe(10 nm)]Si(50 nm)<sub>10</sub>/Si(50 nm).沉积的 Fe/Si 多层膜在真空中进行了 850 °C 退火处理.退火的时间分别为 2 h 和 8 h.退火后的样品自然冷却至室温.

实验采用 Philips Technai G<sup>2</sup> 透射电子显微镜和 Bruker AXS Diffraktometer D8 型高分辨薄膜 X 射线衍射仪(其射线源是 CuK $\alpha$  波长为 0.15418 nm)来进行微结构分析,光致发光信号的测量是在复旦大学自行组建的设备上进行的,其选用激光器作为激发光源,波长为 532 nm,功率为 80 mW.

## 3. 结果与讨论

图 1 分别是 Fe/Si 厚度比为 20/100 和 10/50 样品的未退火、850°C/2 h 和 800°C/8 h 退火的 GAXRD 谱.图中未退火样品没有明显的衍射峰,这说明此时多层膜主要是以非晶的形式存在.退火后,可以清楚地看到  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相的(220/202)、(313/331)和(224/242)衍射峰,退火有利于  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相的生成.同时,退火后的样品中还能观察到 Si 的(111)、(220)和(311)衍射峰,因为本实验采用的是掠入射 XRD,入射角度是 1°,所以单晶 Si(100)基体不会产生衍射峰,并且从图 1 可以看出,未退火的样品中没有这 3 个 Si 峰,是退火以后才出现的,很明显这些 Si 峰是退火后多层膜中非晶 Si 晶化的结果.随着退火时间

的延长,衍射峰逐渐锐化, $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 和 Si 晶化的衍射强度都在增加.在 XRD 分析中,仅看到  $\beta$  相和 Si 的衍射峰,没有观察到其他铁硅化合物的存在.图 1(a)中 52°附近的衍射峰是为了去掉样品台的峰而加上的空白 Si 片的噪音峰,不是样品的信息.

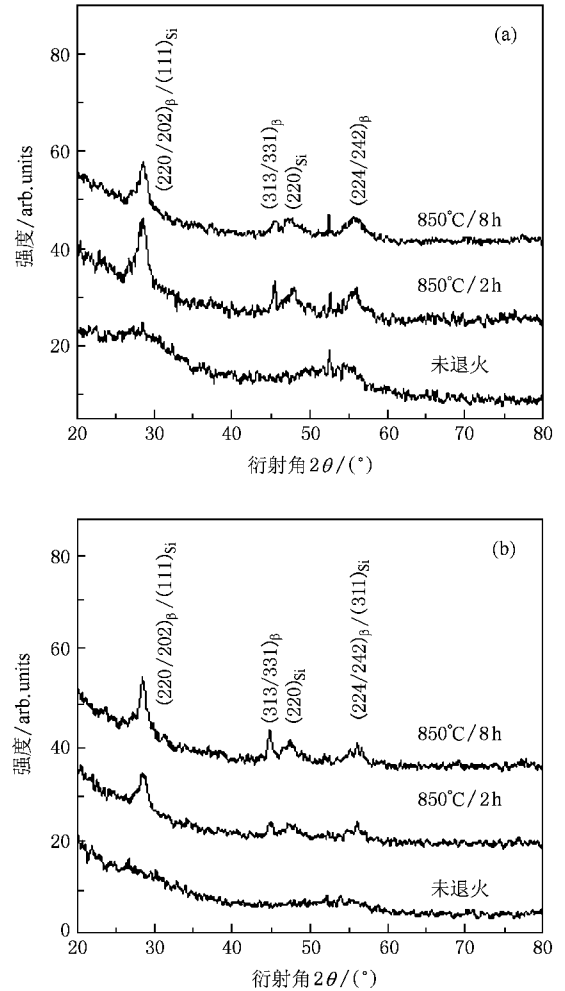


图 1 不同 Fe/Si 厚度比样品不同退火时间的 GAXRD 谱 (a) Fe/Si 厚度比为 10/50, (b) Fe/Si 厚度比为 20/100

图 2 是实验设计的厚度比为 Fe(20 nm)/Si(100 nm)样品的未退火截面电镜形貌.观察可以发现,磁控溅射沉积得到多层膜平整度和连续性较好,实际的沉积速率比设计的沉积速率要大,Fe 层厚度在 20—30 nm 左右, Si 层厚度为 200 nm 左右.进行电子衍射观察可知,此时 Fe/Si 多层膜中的 Si 是呈非晶态.专门对 Fe/Si 多层膜中的 Fe 层进行高分辨电子衍射观察,图 3 是厚度比为 Fe(20 nm)/Si(100 nm)样品的未退火截面高分辨形貌.图中黑色的区域对应的是 Fe 的沉积层,这一层中大部分都显示不同方向的周期性结构,说明此时该层中包含很多的纳米晶

体颗粒. 对周期结构进行傅里叶变换可以得到这些颗粒的电子衍射图(见图 3 左侧), 再根据图中测量到的晶面间距以及夹角关系, 我们能够标定这些颗粒是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相. 关于 Fe/Si 多层膜的详细电镜分析见文献 [15]. 由此可见, Fe 沉积到 Si 层上就立刻与之发生反应生成了  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相, 无需退火, 实际溅射沉积得到的已经是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/a-Si 结构.

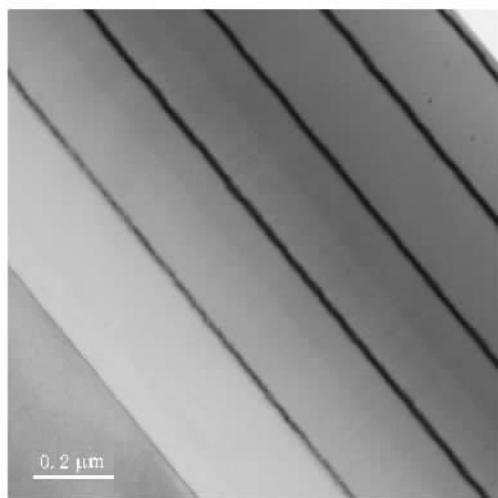


图 2 厚度比为 Fe(20 nm)/Si(100 nm) 样品的未退火截面电镜形貌

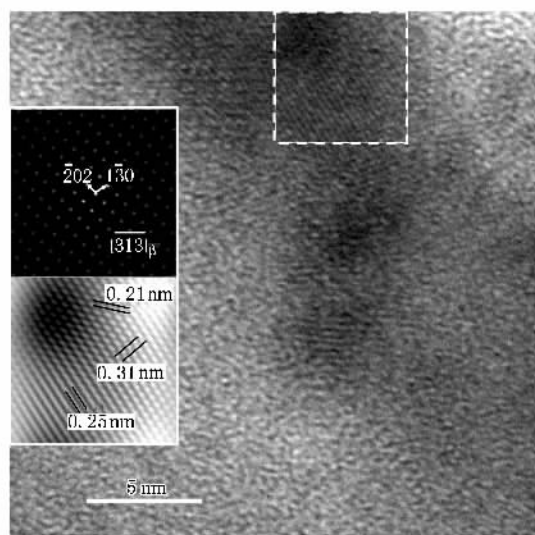


图 3 厚度比为 Fe(20 nm)/Si(100 nm) 样品的未退火截面高分辨形貌

对 Fe/Si 厚度比为 20/100 的样品进行了 850°C/8 h 的真空退火处理, 图 4 是样品的截面电镜形貌, 如图所示, 硅化物层已经完全断开, 形成一个个小颗粒. 颗粒呈椭圆形或圆形, 边缘清晰, 团聚生长的现

象明显. 图 5(a) 为硅化物层中一个颗粒的高分辨电子显微形貌, 对图中的白色方框区域做傅里叶变换和反傅里叶变换(如图 5(b)(c) 所示), 可确定相结构还是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>, 比较可以得出经过长时间的退火,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相晶体质量得到了提高. 此外, 在图 4 的形貌照片中还可以看到在两层硅化物中间的非晶 Si 中有一些小黑点状的晶化相存在, 在图 5 中的高分辨照片中也可以发现在  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒周围出现一些周期结构, 如图中黑色虚线圈中的区域, 标定晶面间距及夹角可以证明这是退火后非晶 Si 部分发生了晶化, 这与 XRD 测试结构一致. 非晶 Si 晶化原因分析见文献 [15]. 在我们以前用离子注入法制备的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 薄膜中已经发现<sup>[6-9]</sup> 850°C/1 h 的真空退火处理后,  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相的生长就呈现强烈的收缩以及合并的趋势, 注入层下方 200—300 nm 内的硅化物小颗粒可以全部合并到上面的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 层中. 所以, 在本实验的多层结构中, 即使在制备初期存在一小部分的 Fe 向 Si 中扩散的倾向, 在后续的 850°C/8 h 的真空退火处理中, Si 中的小  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相的颗粒也都会向两个方向合并生长到上面或下面的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 层中. 因此无论从标定的角度还是从  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 生长行为的角度我们都可以确定, 非晶硅层中的小颗粒是 Si 的晶化相.

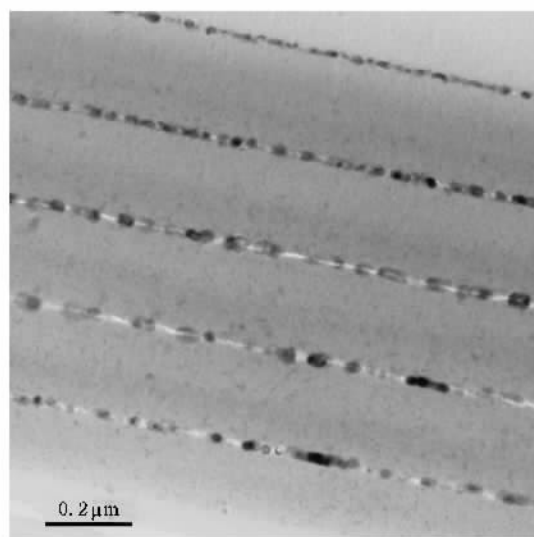


图 4 Fe/Si 厚度比为 20/100 样品 850°C/8 h 退火后的截面电镜形貌

为了考察多层膜的光学性能, 我们进行了室温下的 PL 信号的测量. 图 6(a) 为厚度比是 20/100, 850°C 退火 2 h 的 Fe/Si 多层膜室温下检测到的光致

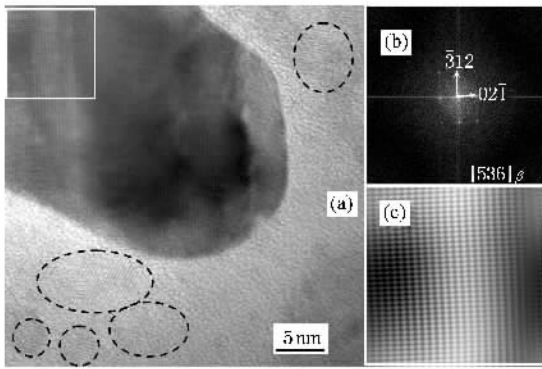


图5 Fe/Si 厚度比为 20/100 样品 850°C/8 h 退火后硅化物层中一个颗粒的高分辨电子显微形貌 (a), 对白色方框区域做的傅里叶变换 (b) 和反傅里叶变换 (c)

发光信号, 从图中可以明显观察到 1.53  $\mu\text{m}$  处的 PL 信号, 信号的强度比较弱. 为了排除这个峰是基体产生的可能性, 对实验用空白 Si(100) 基片也进行了室温 PL 信号检测, 结果如图 6(b) 所示, 在同样的谱线范围内并没有观察到信号. 由此可以得出 1.53  $\mu\text{m}$  处的 PL 信号是来自于多层膜. 在之前的报道中<sup>[16-19]</sup> 人们进行  $\beta\text{-FeSi}_2$  的 PL 信号的测量温度都是小于 100 K 的低温, 随着测量温度向室温升高, 光致发光信号会逐渐减弱, 在室温下观察不到明显的光致发光峰, 只有陆培祥等<sup>[20]</sup> 在 2006 年用飞秒激光沉积法制备的  $\beta\text{-FeSi}_2$  薄膜中, 室温下检测到了 1.53  $\mu\text{m}$  处的光致发光信号, 强度也很低.

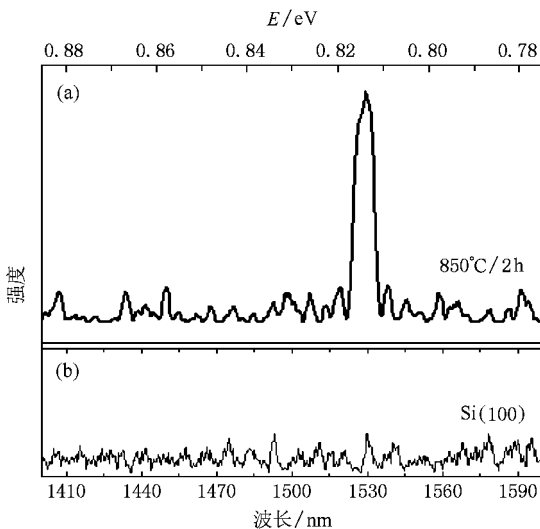


图6 (a) Fe/Si 厚度比为 20/100, 850°C/2 h 退火样品的室温 PL 谱 (b) 空白 Si(100) 的 PL 谱

对于 1.53  $\mu\text{m}$  处的 PL 峰的来源长期以来一直

存在争议. 众所周知, Si 基体中缺陷所产生的 PL 峰分别位于 D1(0.81 eV), D2(0.87 eV), D3(0.95 eV), D4(1.06 eV)<sup>[21]</sup>. 其中 D1(0.81 eV) 与图 6 中检测到 PL 峰近似重合. 但是 Li 等<sup>[22]</sup> 指出, 由 Si 中的缺陷所产生的 D1 和 D2 发光峰一般是同时存在的, 而我们测得的 PL 谱中只在 0.81 eV 处有峰, 因此否定了这一 PL 信号来自于 Si 缺陷的可能性. 另外, Suemasu 等<sup>[23]</sup> 研究发现  $\beta\text{-FeSi}_2/\text{Si}$  界面的应力对  $\beta\text{-FeSi}_2$  的 PL 信号有决定性的影响, 当  $\beta\text{-FeSi}_2$  颗粒中有应力存在时能观察到 PL 信号, 反之则观察不到, 也就是说 1.53  $\mu\text{m}$  处的 PL 信号可能来自  $\beta\text{-FeSi}_2$  与 Si 间的晶格失配所产生的应力. 由于我们沉积的是非晶 Si/ $\beta\text{-FeSi}_2$  的结构且  $\beta$  相埋入在非晶 Si 中,  $\beta$  相与单晶 Si 基体并没有接触,  $\beta$  相周围是各向同性的非晶 Si 环境, 即使在高温时出现晶化现象, 晶体 Si 也是在非晶 Si 中形核的, 与  $\beta$  相没有直接接触 (见图 5(a)), 而  $\beta$  相与周围的各向同性的非晶 Si 间不存在应力问题, 因此这种可能性也应该被否定.

综上所述, 我们倾向于认为观测到的 1.53  $\mu\text{m}$  处的信号与实验所得的这种多层膜的状态有密切的联系. 同时, 磁控溅射直接得到了纳米的  $\beta\text{-FeSi}_2$  相对 PL 信号的观测也起到了关键的作用. Maeda 等<sup>[24]</sup> 采用离子束合成的方法沉积的  $\beta\text{-FeSi}_2$  薄膜, 在 94 K 下测量了 PL 谱, 观察到 4 个特征峰 A(0.802—0.81 eV), B(0.85—0.87 eV), C(0.75—0.78 eV), D(0.89—0.90 eV), 他们认为只有 A(0.802—0.81 eV) 所对应的峰为  $\beta\text{-FeSi}_2$  的本征峰, 这与我们的实验结果是相似的.

图 7 为厚度比是 20/100 的 Fe/Si 多层膜不同退火处理后的室温 PL 信号, 从图中可以看出, 未退火样品 (a) 室温下也可以检测到 1.53  $\mu\text{m}$  处的 PL 信号. 退火以及退火时间的延长对 PL 峰的强度并没有影响. 由 XRD 和 TEM 分析结果可知, 未退火时多层膜是 (非晶的  $\text{FeSi}_2 + \beta\text{-FeSi}_2$  颗粒)/非晶 Si 结构, 退火后则是  $\beta\text{-FeSi}_2$  颗粒 (晶体 Si + 非晶 Si) 结构. 现在退火前后样品有相同的 PL 信号强度, 说明非晶的  $\text{FeSi}_2 + \beta\text{-FeSi}_2$  颗粒和  $\beta\text{-FeSi}_2$  颗粒可以产生同样的发光性能. 这就可以证明非晶  $\text{FeSi}_2$  对 1.53  $\mu\text{m}$  处 PL 信号也有贡献. 2004 年 Milosavljevic 等<sup>[25]</sup> 在 Si(100) 基体共溅射沉积 Fe 和 Si, 反应合成 300—400 nm 的  $\text{FeSi}_2$  非晶层, 并在室温检测得出有 0.89—0.90 eV 的直接带隙, 证明了非晶的  $\text{FeSi}_2$  具有半导

体特性. 本次实验测出 1.53  $\mu\text{m}$  处 PL 信号也进一步 证明了非晶 FeSi<sub>2</sub> 的半导体性能.

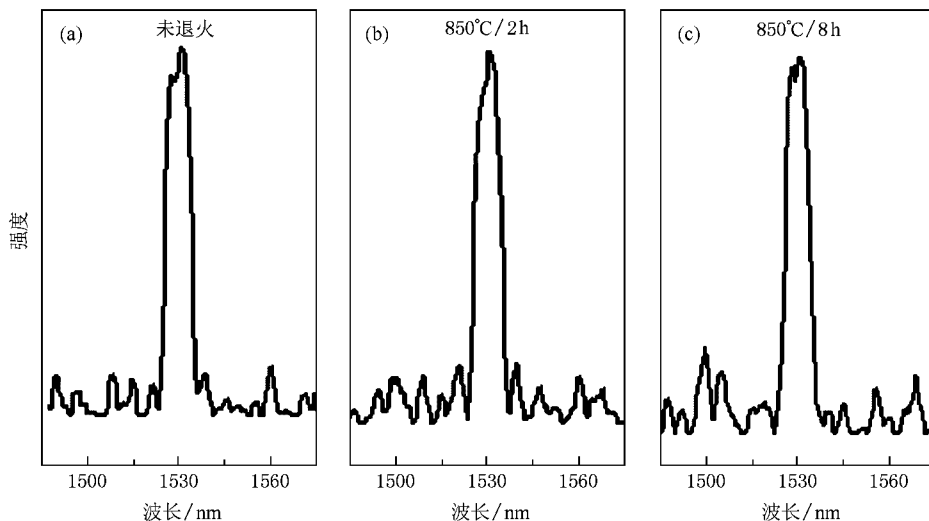


图7 厚度比是 20/100 的 Fe/Si 多层膜不同退火处理后的室温 PL 谱 (a)未退火 (b)850°C/2 h 退火 (c)850°C/8 h 退火

## 4. 结 论

利用射频磁控溅射技术,在单晶 Si(100)基片上沉积 Fe/Si 多层膜,由 XRD 和 TEM 分析结果可知:多层膜只含有 Si 和  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 相,没有观察到其他铁硅化合物的存在;未退火时多层膜是(非晶的 FeSi<sub>2</sub> +  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒)非晶 Si 结构,退火后则是  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒(晶体 Si + 非晶 Si)结构.对薄膜进行的室温光致发光测量表明:退火前后样品有相同的 PL 信号强度,说明非晶的 FeSi<sub>2</sub> +  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒和  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 颗粒

可以产生同样的发光性能.观测到的 1.53  $\mu\text{m}$  处的信号,与实验所得的这种多层膜的状态有密切的联系.同时,磁控溅射直接得到了纳米的  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 对 PL 信号的观测也起到了关键的作用.本次实验进一步证明了非晶 FeSi<sub>2</sub> 的半导体性能,证明了非晶 FeSi<sub>2</sub> 对 PL 信号有贡献.

感谢大连理工大学三束材料改性国家重点实验室张庆瑜教授对本研究工作给予的支持和协助.感谢复旦大学徐雷、李毅刚教授和单炯在样品光电性能分析方面给予的支持和帮助.

[1] Zhu P R, Jiang W L, Xu T S 1992 *Acta Phys. Sin.* **41** 2049 (in Chinese) 朱沛然、江伟林、徐天水 1992 物理学报 **41** 2049]

[2] Xie E Q, Wang W W, Jiang N, He D Y 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 873 (in Chinese) 谢二庆、王文武、姜宁、贺德行 2002 物理学报 **51** 873]

[3] Takarabe K, Teranishi R, Oinuma J, Mori Y, Suemasu T, Chichibu S, Hasegawa F 2002 *Phys. Rev. B* **65** 165215

[4] Sasase M, Nakanoya T, Yamamoto H, Hojou K 2001 *Thin Solid Film* **401** 73

[5] Dong C, Li X N, Nie D, Xu L, Zhang Z 2004 *Thin Solid Films* **461** 48

[6] Li X N, Nie D, Dong C, Xu L, Zhang Z 2001 *Chin. J. Semiconductors* **22** 1507 (in Chinese) 李晓娜、聂冬、董闯、徐雷、张泽 2001 半导体学报 **22** 1507]

[7] Li X N, Nie D, Dong C 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 115 (in

Chinese) 李晓娜、聂冬、董闯 2002 物理学报 **51** 115]

[8] Li X N, Nie D, Dong C 2002 *J. Chin. Electron Microscopy Soc.* **21** 43 (in Chinese) 李晓娜、聂冬、董闯 2002 电子显微学报 **21** 43]

[9] Li X N, Dong C, Jin S, Ma T C, Zhang Q Y 1998 *Surf. Coat. Technol.* **103** 231

[10] Spinella C, Coffa S, Bongiorno C, Pannitteri S 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 173

[11] Pan Z J, Zhang L T, Wu J S 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5308 (in Chinese) 潘志军、张澜庭、吴建生 2005 物理学报 **54** 5308]

[12] Lange H 1997 *Phys. Status Solidi B* **201** 3

[13] Ozawa Y, Ohtsuka T, Li C, Suemasu T, Hasegawa F 2004 *J. Appl. Phys.* **95** 5483

[14] Suemasu T, Fujii T, Takakura K, Hasegawa F 2001 *Thin Solid Films* **381** 209

- [ 15 ] Hu B , Li X N , Dong C , Jiang X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 7188 [ in Chinese ] 胡 冰、李晓娜、董 闯、姜 辛 2007 *物理学报* **56** 7188 ]
- [ 16 ] Sunohara T , Kobayashi K , Suemasu T 2006 *Thin Solid Films* **508** 371
- [ 17 ] Maeda Y , Terai Y , Itakura M , Kuwano N 2004 *Thin Solid Films* **461** 160
- [ 18 ] Akiyama K , Itakura M , Kaneko S , Funakubo H , Maeda Y 2007 *Thin Solid Films* **515** 8144
- [ 19 ] Akiyama K , Kaneko S , Funakubo H , Itakura M 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 071903
- [ 20 ] Lu P X , Zhou Y H , Zheng Q G , Yang G 2006 *Phys. Lett. A* **350** 293
- [ 21 ] Kveder V V , Steinman E A , Shevchenko S A , Grimmeiss H G 1995 *Phys. Rev. B* **51** 10520
- [ 22 ] Li C , Lai H K , Chen S Y , Suemasu T , Hasegawa F 2006 *J. Cry. Grow.* **290** 176
- [ 23 ] Suemasu T , Negishi Y , Takakura K , Hasegawa F 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 1804
- [ 24 ] Maeda Y , Terai Y , Itakura M , Kuwano N 2004 *Thin Solid Films* **461** 160
- [ 25 ] Milosavljevic M , Shao G , Gwilliam R M , Gao Y , Lourenco M A , Valizadeh R , Colligon J S , Homewood K P 2004 *Thin Solid Films* **461** 72

## Room-temperature photoluminescence analysis of nano- $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/a-Si multilayer films<sup>\*</sup>

Niu Hua-Lei Li Xiao-Na<sup>†</sup> Hu Bing Dong Chuang Jiang Xin

( State Key Laboratory of Materials Modification by Laser , Ion and Electron Beam , School of Material Science and Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China )

( Received 31 March 2008 ; revised manuscript received 4 November 2008 )

### Abstract

Nano- $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/a-Si layered structure was successfully deposited on Si ( 001 ) substrates using radio-frequency magnetron sputtering method. X-ray diffraction , transmission electron microscopy and photoluminescence ( PL ) analyses were used to characterise the structure , composition and photoluminescence properties of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si multilayer films. The results show that the peak at wavelength of 1.53  $\mu$ m is observed from Fe/Si multilayer films by PL at room temperature. Without annealing , The films are of ( amorphous FeSi<sub>2</sub> + Nano- $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> particles ) / amorphous Si structure , whereas after annealing , the films are of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> particles ( crystal Si + amorphous Si ) structure. Furthermore , the same PL intensity between as-grown and annealed samples indicates that identical luminescence property can be excited from amorphous FeSi<sub>2</sub> +  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> particles and  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> particles. In this experiment , the peak at wavelength of 1.53  $\mu$ m is also a further indication of the semiconducting properties of amorphous FeSi<sub>2</sub>.

**Keywords :**  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> , magnetron sputtering , XRD , photoluminescence

**PACC :** 6855 , 8115C , 3220R , 7855

<sup>\*</sup> Project supported by the Foundation of Science and Technology of Dalian , China ( Grant No. 2005J22JH043 ).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : lixiaona@dlut.edu.cn