

$\beta\text{-FeSi}_2/\text{SIMOX}$ ——一种新结构的光电子材料*

王连卫 沈勤我 林 贤 林成鲁 邹世昌

(中国科学院上海冶金研究所信息功能材料国家重点实验室 上海 200050)

庄志诚

(上海交通大学理化中心 上海 200030)

摘要 本文采用固相外延法在 SIMOX 衬底上生长了 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜, 采用 X 射线衍射(XRD), 卢瑟辐背散射(RBS)以及自动扩展电阻测量研究了样品的多层结构, Raman 谱表征说明它与直接在硅片上生长的薄膜具有类似的晶格振动特性.

PACC: 7340T, 6855, 7830

1 引言

光电子技术已成为信息产业的一个重要支柱产技术. 微电子行业最常用的材料硅是间接带隙半导体, 迄今为止难以涉足光电子领域. 多孔硅曾被认为是为发展硅基光电子材料开辟了一条新的途径, 但它由于发光不稳定以及与硅平面工艺不匹配, 前景不容乐观. 近年来, 人们发现 $\beta\text{-FeSi}_2$ 具有 $E_g = 0.84 \sim 0.89\text{eV}$ 的直接带隙^[1], 其特征波段是光纤通讯的重要窗口. 它能在硅表面上直接外延生长, 与硅平面工艺相匹配, 从而为发展硅基近红外光源, 探测器以及实现光电器件与 VLSI 和 ULSI 的集成提供了新的可能. 目前, $\beta\text{-FeSi}_2$ 的研究在国际上已形成热点^[2].

SIMOX(Separation by IMplantation of OXygen)是实现 SOI(Silicon On Insulator)结构的一种重要技术^[3]. 将硅化物引进 SIMOX 是开展以 SOI 材料为基础的新一代高速、抗辐照器件的有效技术. 本文研究了在 SIMOX 上的外延生长 $\beta\text{-FeSi}_2$, 目的是将 $\beta\text{-FeSi}_2$ 这种新颖的硅基光电材料与 SIMOX 材料结合起来, 形成 $\beta\text{-FeSi}_2/\text{SIMOX}$ 新结构, 为研制 $\beta\text{-FeSi}_2$ 光电器件与高性能 SIMOX/CMOS 电路多功能集成的新型器件提供新材料.

* 本项目得到上海市自然科学基金资助

王连卫 男, 1965 年生, 博士研究生, 主要从事半导体硅化物的研究工作
1994 年 12 月 18 日收到初稿, 1995 年 5 月 8 日收到修改稿

2 实验

2.1 SIMOX 材料的制备

SIMOX 材料采用两次离子注入与退火制备。选用 p 型(100)晶面、电阻率为 $5\sim 9\Omega\cdot\text{cm}$ 的硅片，按照标准的集成电路工艺条件清洗，经 $170\text{keV}, 5\times 10^{17}\text{O}^+/\text{cm}^2$ 注入在 N_2 中退火5小时，再进行同样条件的注入和热处理，最后形成单晶 $\text{Si}(200\text{nm})/\text{SiO}_2(300\text{nm})/\text{Si}$ 的 SIMOX 结构。

2.2 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜的制备

分别选用了 SIMOX 衬底与 p 型(100)晶面、电阻率为 $5\sim 9\Omega\cdot\text{cm}$ 的单晶硅片进行 $\beta\text{-FeSi}_2$ 外延。铁的蒸发是在 Balzers 公司生产的 UMS500P 超高真空镀膜仪上进行，本底真空为 10^{-10}mbar ，工作真空为 10^{-8}mbar ，采用电子束蒸发，蒸发速率为 $0.3\sim 0.5\text{nm/s}$ 。通过石英晶振控制铁的沉积厚度为 30nm ，蒸发时的衬底温度为 500°C 。从四探针电阻测量可以看出，直接蒸发的薄膜仍具有金属特性，表明 $\beta\text{-FeSi}_2$ 尚未形成。样品在高纯 Ar 气氛或高纯氮气保护下进行高温 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 退火，最后在 SIMOX 上获得了 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜。

2.3 测试方法

XRD 测量采用 $\text{Cu K}\alpha_1$ 谱线($\lambda=0.1541\text{nm}$)，RBS 采用 2MeV He^+ ，散射角为 165° 。扩展电阻测试磨角为 $17'$ ，Raman 测试采用 Ar^+ 激光器的 488nm 作为激发光源并采用多次扫描迭加。

3 结果与讨论

由于沉积的铁厚度只有 30nm ，经退火形成的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的厚度只有 90nm ，XRD 物相分析信号很弱。采用相同沉积和退火条件形成的较厚(300nm)样品也进行了 XRD 分析(见图1)。从 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的衍射峰对应的峰位(202)(220)，(040)(004)以及(422)来判断表明 $\beta\text{-FeSi}_2$ 已在 SIMOX 表面形成。方块电阻的测量证明，它与体硅上获得的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 相近($\sim 200\Omega/\square$)。

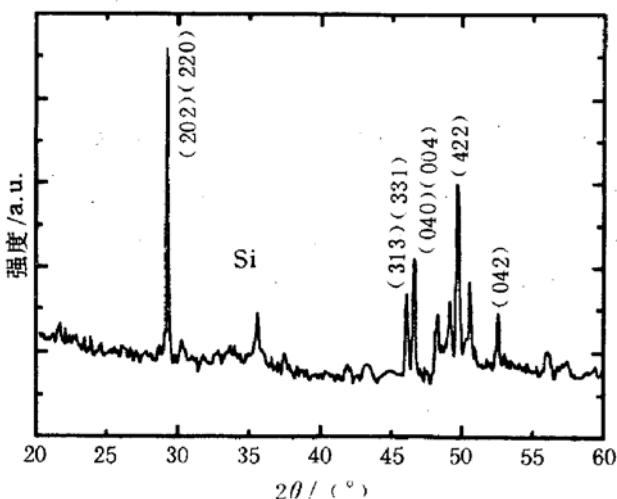


图 1 $\beta\text{-FeSi}_2/\text{Si}(100)$ 的 X 射线分析

图2是沉积样品经过 $700^\circ\text{C}, 2$ 小时退火前后的 RBS 谱。从图可以看出，退火后，上层硅已与铁发生了反应，表现在铁的背散射峰的产额的降低和展宽。通过上层硅的消耗来完成固相反应，这是在上层硅上形成较厚 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的主要限制因素。N. Lundberg^[4]等对体硅上生长的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的氧化行为的研究表明，氧化过程是通过将 $\beta\text{-FeSi}_2$ 向内推进来实现自对准掩膜的，而在 SIMOX 上生长的 $\beta\text{-FeSi}_2$ ，由于 SIMOX 上层硅的被消耗会导致氧化过程中硅化物的耗尽($\text{FeSi}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$)，这就意味着在 SIMOX 上采用体硅上生长硅化物的氧化工艺

时,必须考虑到 SIMOX 上层硅的厚度这一因素.

图3是采用扩展电阻测得的电阻率随深度的分布.从图可看出,靠近表面的一层电阻率

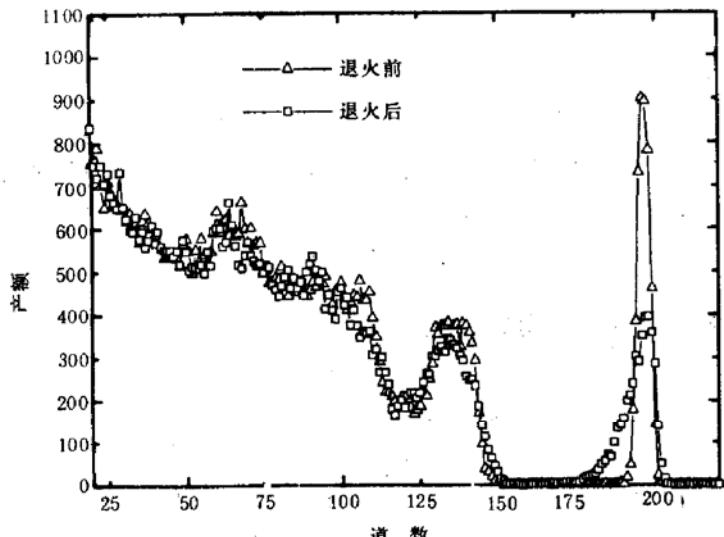


图2 Fe/SIMOX 系统700°C,
2小时退火前后的RBS分析

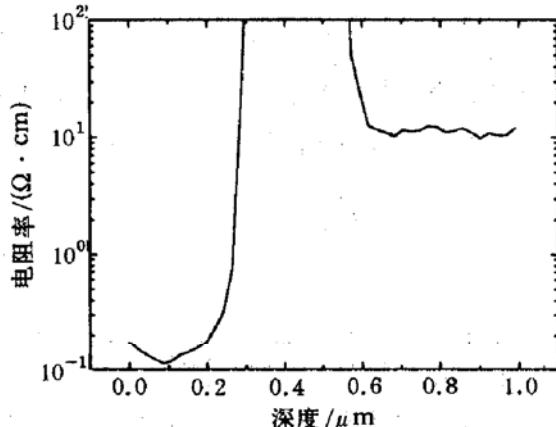


图3 $\beta\text{-FeSi}_2/\text{SIMOX}$ 电阻率
随深度的分布

较低,这与直接在体硅上得到的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的阻值相近,而随深度的增加,电阻率陡直上升,表明接近 SiO_2 埋层,在跃过 SiO_2 埋层后,电阻率下降并达到体硅的恒定值.这一结果与文献[5,6]研究的 SIMOX 上生长 TiSi_2 以及 GaAs 薄膜中 ASR 测量类似.在进行扩展电阻测量的同时,从高倍金相显微镜上也可观察到这种分层结构并且界面非常清晰.

为了比较在 SIMOX 上外延的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 与在单晶硅片上外延的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜的晶格振动特征,我们同时研究了二者在退火前后的 Raman 谱(图4).在退火前,由于薄膜的相组成,比较复杂,图中所呈现的谱线还无法指认,但单晶硅 Γ_5^+ (519cm^{-1}) 光学声子对应的谱线却可

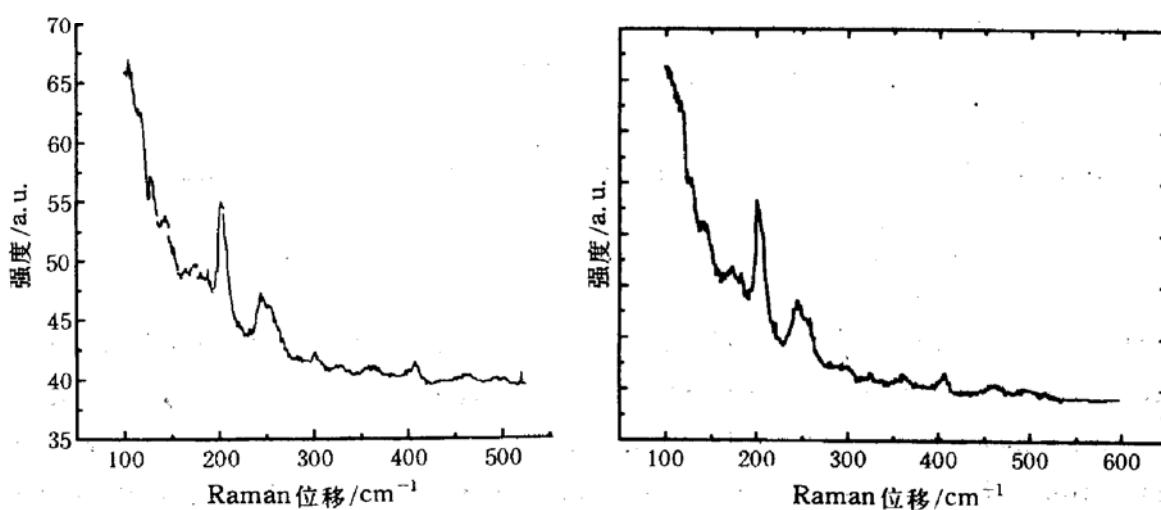


图4 800°C、10分钟退火后(a) $\beta\text{-FeSi}_2/\text{SIMOX}$ 及(b) $\beta\text{-FeSi}_2/\text{Si}$ 的 Raman 谱
铁的沉积厚度都为30nm.

清晰看到. 经过800°C, 10分钟退火后, 与 $\beta\text{-FeSi}_2$ 单声子过程相联系的特征峰已清晰可辨并与文献[7]报道基本一致. 比较 SIMOX 与 Si 表面外延的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 的 Raman 位移, 发现二者

差别很小,反映了其微观结构的相似性. 谱线的展宽可能是由于晶粒比较细引起的.

4 结论

采用固相外延法,本文成功地在 SIMOX 表面生长了 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜,采用 RBS 分析了 Fe/SIMOX 界面形成过程,采用扩展电阻研究了这种多层结构,Raman 谱表征说明它与在单晶硅片上外延的 $\beta\text{-FeSi}_2$ 具有相似的晶格振动特性.

参 考 文 献

- [1] M. C. Bost and J. E. Mahan, *J. Appl. Phys.*, 1985, **58**:2696; 1988, **63**:839.
- [2] J. Chevrier, V. Le Thanh, S. Nitsche *et al.*, *Appl. Surf. Sci.*, 1992, **56~58**:438.
- [3] 林成鲁,俞跃辉,方子韦,等,中国科学 A 辑,1990, **33**(9):976.
- [4] N. Lundberg, U. Erlesand and M. Ostling, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1992, **260**:417.
- [5] Chenglu Lin, Wei Zhu, Shichang Zou *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**:2004.
- [6] Wenhua Zhu, Yuehui Yu, Chenglu Lin *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**:210.
- [7] K. Lefki, P. Muret, E. Bustarret *et al.*, *Solid Stat. Commun.*, 1991, **80**:791.

$\beta\text{-FeSi}_2$ /SIMOX——A Novel Structure Optoelectronic Material

Wang Lianwei, Shen Qinwo, Lin Xian, Lin Chenglu and Zou Shichang

(State Key Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

Zhuang Zhicheng

(Analytical Centre of Physics and Chemistry, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Received 18 December 1994, revised manuscript received 8 May 1995

Abstract Novel structure $\beta\text{-Fe Si}_2$ /SIMOX has been successfully fabricated by solid phase epitaxy. X-rays diffraction, Rutherford backscattering spectroscopy and automatic spreading resistance measurements have been employed to detect the formation mechanism and microstructure. Raman characterization reveals that the as-formed film exhibits the same lattice vibration properties as that grown on bulk silicon wafer.

PACC: 7340T, 6855, 7830