

# 氮离子注入形成 SOI 结构的外延研究

林成鲁\* 李金华\*\* 方子韦\* 邹世昌\*

(\*中国科学院上海冶金所离子束开放实验室, 上海 \*\*常州半导体厂, 常州)

1988年3月22日收到

用大束流 ( $50\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )、高剂量 ( $1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ ) 的  $190\text{keV N}^+$  注入  $\text{Si}(100)$  中, 然后在  $\text{SiO}_2$  覆盖保护下于  $1220^\circ\text{C}$  退火二小时形成 SOI 结构。为了增加 SOI 材料上层单晶 Si 的厚度以应用于器件制作, 将退火得到的 SOI 样品经化学处理后作外延生长。外延后获得的 SOI 材料, 上层单晶 Si 厚度为  $0.8\text{--}1.0\mu\text{m}$ ;  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层的厚度为  $2800\text{\AA}$ ; 上、下  $\text{Si-Si}_3\text{N}_4$  界面陡峭。测试分析结果表明, 利用  $\text{N}^+$  注入与气相外延生长能获得质量好的 SOI 材料。

主题词: 离子注入, 退火, 外延生长, SOI 材料

## 一、引言

利用高剂量的  $\text{O}^+$  或  $\text{N}^+$  等离子注入, 经高温长时间退火后在单晶硅中形成隐埋绝缘层, 可获得性能良好的 SOI 材料<sup>[1,2]</sup>。与注  $\text{O}^+$  的方法相比, 注  $\text{N}^+$  形成的 SOI 材料有几个特点: 它可用比较低的剂量达到  $\text{Si}_3\text{N}_4$  绝缘层的化学计量比;  $\text{Si}_3\text{N}_4$  是一种好的扩散势垒, 可以阻挡  $\text{Na}$  离子和重金属杂质的扩散; 常规离子注入机容易引  $\text{N}^+$  束, 而且离子源寿命长。然而, 由于注入机能量的限制, 通用  $200\text{keV}$  注入机注  $\text{N}^+$  退火后形成的 SOI 材料, 上层单晶硅厚仅约  $3000\text{\AA}$ 。为了应用于 SOI 器件的制作, 需外延单晶硅层。

R. J. Dexter 等<sup>[3]</sup>首先报道了在  $\text{N}^+$  注入的硅样品表面生长外延层, 作者发现如  $\text{N}^+$  注入能量小于  $100\text{keV}$  或剂量大于  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^2$  时, 外延得到的将是多晶硅。可是, 不少学者的研究<sup>[2,4]</sup>指出, 形成化学计量比  $\text{Si}_3\text{N}_4$  绝缘层比较理想的注入剂量要大于  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 。如何得到既有好的外延层又有好的绝缘层, 是 SOI 材料的应用中必须解决的课题。

本文以  $190\text{ keV}$ ,  $1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2$   $\text{N}^+$  注入  $\text{Si}$ , 经高温热退火后再外延生长得到了 SOI 材料, 利用离子背散射和沟道技术 (RBS/C)、透射电镜 (TEM)、红外吸收谱 (IR)、扩展电阻测试 (ASR) 等方法研究了这种 SOI 材料的性质。研究表明, 利用注入、退火与外延, 可以获得良好的可用于器件制造的 SOI 材料。

## 二、实验方法

$\phi 75\text{mm}$  的 N型  $\langle 100 \rangle \text{Si}$ , 电阻率为  $3\text{--}6\Omega\text{cm}$ , 注入  $190\text{keV N}^+$ , 剂量为  $1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ , 束流密度  $50\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , 在硅片上注入区面积为  $40 \times 40\text{mm}^2$ 。注入后的样品在低温淀积的  $3500\text{\AA}$   $\text{SiO}_2$  保护下在  $\text{N}_2$  中于  $1220^\circ\text{C}$  退火二小时。退火后的样品经化学清洗后, 在

1200℃下作气相外延，外延前样品予热30分钟，外延生长时的速率为 $0.26\mu\text{m}/\text{min}$ 。利用卧式感应石墨外延炉，以 $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Si} + 4\text{HCl}$ 的正反应外延生长，并掺入适当量的用 $\text{H}_2$ 携带的 $\text{POCl}_3$ ，借以获得较低掺杂浓度的外延薄层。

外延前后的SOI材料，以 $2\text{MeV He}^+$ 背散射和沟道分析、JEM-4000EX电子显微镜分析其结构及晶体质量，ASR-100C/2扩展电阻测试仪分析电学性能，7199-C傅里叶红外光谱仪分析 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 埋层的形态。

### 三、结果和讨论

#### 1. 离子背散射和沟道分析

图1为注 $\text{N}^+(190\text{ keV}, 1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2)$ 的Si，在 $\text{SiO}_2$ 覆盖保护下在 $\text{N}_2$ 中经1220℃，二小时退火后，以及进而在1200℃下气相外延后的SOI材料的背散射沟道谱。从图1(a)可以得出，退火后形成的SOI结构，上层单晶硅和氮化硅埋层的厚度分别为3000Å和3100Å，上层单晶硅的沟道谱最低产额 $x_{\min}$ 为10%。图1(b)经外延后上层单晶硅的厚度增至9400Å， $x_{\min}$ 降低至3.4%，氮化硅埋层厚度为2800Å。外延后的上层单晶硅在厚度增加的同时，晶体质量有了明显的改善。背散射沟道分析反映出的氮化硅埋层厚度的变化，在下面扩展电阻等分析中也观察到了。

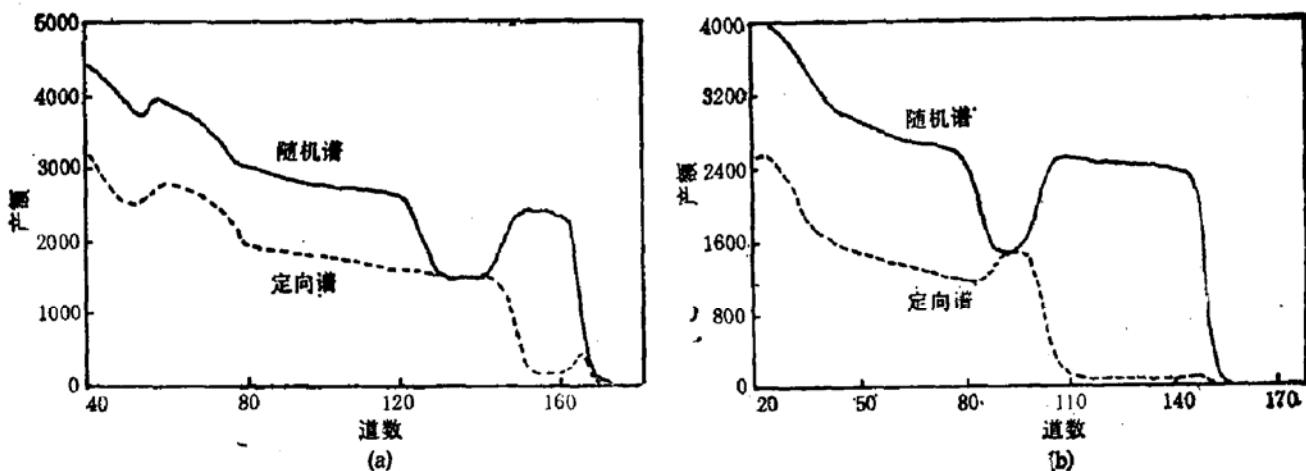


图1  $2\text{MeV He}^+$ 分析得到的离子背散射沟道谱，(a) 外延前；(b) 外延后

#### 2. 透射电镜的分析

图2(见图版 I)为SOI材料外延后的剖面透射电镜照片。从照片可以看出，上层单晶硅厚度为9400Å，氮化硅埋层厚度为2800Å。SOI样品的剖面可以分为五层，如照片中所示：1. Si 单晶；2.  $\alpha$ 相 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 多晶；3. 富N的疏松 $\text{Si}_3\text{N}_4$ ；4.  $\alpha$ 相 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 多晶；5. Si 衬底。

#### 3. 扩展电阻的测试分析

以扩展电阻测试分析Si中注入 $190\text{keV}, 1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2\text{N}^+$ 的样品，经1220℃二小时退火后以及1200℃外延后的扩展电阻的深度分布，结果如图3。图中可见，退火后外延前上层Si和 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 埋层之间的界面有约500Å的过渡区， $\text{Si}_3\text{N}_4$ 埋层和Si衬底间

的界面是陡峭的。经外延后,上层 Si 和  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  和衬底 Si 的界面都是陡峭的; 扩展电阻测试分析得到上层 Si 中载流子浓度分布均匀, 浓度为  $8 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ; 相应的氮化硅埋层厚度变薄一些。外延前后氮化硅埋层厚度变化的原因正在进一步研究, 初步分析认为, 在外延前的预热及外延过程中, 上层 Si 与氮化硅埋层之间的过渡区中 Si 的缺陷密度进一步降低, 使之过渡区变小, 扩展电阻变低。扩展电阻分析结果与背散射沟道能谱中观测到的氮化硅埋层变薄是一致的。

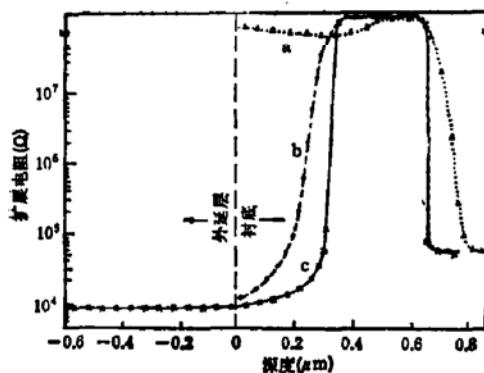


图 3 SOI 材料扩展电阻的深度分布  
(a) 注入后; (b) 1220℃二小时退火后; (c) 外延后

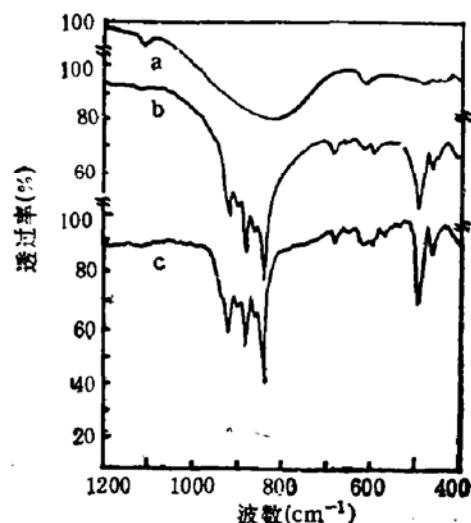


图 4 SOI 材料的红外吸收谱  
(a) 注入后; (b) 1220℃二小时退火后; (c) 外延后

#### 4. 红外吸收谱的分析

图 4 为红外光谱仪分析得到的 SOI 材料的红外吸收谱。退火前的样品, 其红外吸收谱呈典型的非晶  $\text{Si}_3\text{N}_4$  的吸收曲线, 经退火后, 特征的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  红外吸收峰发生分裂, 说明  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层由非晶态向晶态转变, 红外吸收谱中几个峰的位置与 N.Wada 等<sup>[1]</sup>论文中报告的  $\alpha$  相  $\text{Si}_3\text{N}_4$  的吸收峰符合, 表明  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层中存在  $\alpha$  相  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 。而经外延后的红外吸收峰的分裂更为显著, 证明  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层中  $\alpha$  相有所增加。红外吸收谱的分析与透射电镜所观察到的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层由非晶层与多晶层组成的结果是一致的。

上述分析表明, 高剂量  $\text{N}^+$  注入 Si 后, 退火前的埋层呈无定形, 但经过 1220℃ 二小时退火以及 1200℃ 外延后, 埋层中即出现  $\alpha$  相  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 。这种变化的原因, 我们认为是由于在高温热退火及外延后,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层从上层 Si 与衬底 Si 单晶开始外延生长, 但是 Si 为金刚石结构,  $\alpha$  相  $\text{Si}_3\text{N}_4$  为六方结构, 晶格结构的差异使得只能从单晶 Si 上外延出多晶  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 。另外, 因为 N 在  $\text{Si}_3\text{N}_4$  中扩散系数很小 (500℃ 时为  $2.1 \times 10^{-28}\text{cm}^2/\text{s}$ ), 所以注入 N 分布峰值附近超过  $\text{Si}_3\text{N}_4$  化学计量比的 N 陷落在  $\text{Si}_3\text{N}_4$  中, 使  $\text{Si}_3\text{N}_4$  埋层的中间部分成为富 N 的疏松的非晶  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 夹在  $\alpha$  相  $\text{Si}_3\text{N}_4$  多晶层中。

这种 SOI 材料上层 Si 以及  $\text{Si}-\text{Si}_3\text{N}_4$  界面的 DLTS 分析以及器件的研制结果将另文报道。

作者对上海冶金所倪如山、周祖尧、周伟等同志在透射电镜和背散射沟道分析方面的帮助, 常州半导体厂任永明、席奎德同志在外延方面的帮助, 表示十分感谢。

### 参 考 文 献

- [1] P. L. F. Hemment, R. F. Peart, M. F. Yao *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 952(1985).
- [2] K. J. Reeson, P. L. F. Hemment, C. D. Meekison *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1882(1987).
- [3] R. J. Dexter, S. B. Watelski and S. T. Picraux, *Appl. Phys. Lett.*, **23**, 455(1973).
- [4] W. Skorupa, K. Wollschlager, U. Kreissig *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B19/20**, 285(1987).
- [5] N. Wada, S. A. Solin, J. Wong *et al.*, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **43**, 7(1981).

## Epitaxial Growth of SOI Structure Formed by N<sup>+</sup> Implantation

Lin Chenglu\* Li Jinghua\*\*, Fang Ziwei\* and Zou Shichang\*

(\*Ion Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

(\*\*Changzhou Semiconductor Factory, Jiangsu, Changzhou)

### Abstract

SOI materials were formed by 190 KeV N<sup>+</sup> implantation with high beam current density ( $50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) and high fluences ( $1.8 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ ) into  $\langle 100 \rangle$  crystalline silicon. Post-implantation annealing was done at 1220°C for 2h with the protection of a SiO<sub>2</sub> layer. In order to increase the thickness and improve the quality of the silicon layer for device fabrication, vapour phase epitaxial growth was performed on the SOI material at 1200°C. The experimental results indicated that the thickness of single crystalline silicon layer with minimum channeling yield of 3.4% is 0.8—1.0 μm, the thickness of buried Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> layer is 2800 Å, and the Si-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> interfaces are extremely abrupt. It has been shown that high quality SOI material could be obtained by nitrogen implantation in combination with vapor phase epitaxial growth.

**KEY WORDS:** Ion implantation, Annealing, Epitaxial growth, SOI material