

研究简报

用离子束混合形成硅化钛

胡 仁 元

(北京师范大学低能核物理研究所)

1984年2月22日收到

我们用一种新方法在硅上形成硅化物, 硅片上溅射一层 600 \AA 的钛膜, 在室温下用 400keV $4 \times 10^{15}\text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$, $1 \times 10^{16}\text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照, 利用离子束混合效应形成 1000 \AA 硅化钛膜。用 MeV He^+ 离子背散射方法研究了硅化钛组成和厚度并讨论了形成机制。

一、引言

硅化物已广泛应用于半导体器件金属化系统中。通常是在硅片上淀积一层金属, 金属与硅界面加热反应形成硅化物。我们试验一种在室温下用离子束混合形成硅化物的新方法, 并用 MeV He^+ 离子背散射对形成硅化物的成分、厚度进行了研究。

由于离子束和固体原子碰撞(包括反冲和级联碰撞), 使固体表面大量原子离位, 起到固体中原子输运作用^[1]。此外在一定温度下由于固体表面大量辐照缺陷形成而引起的增强扩散和由于辐照形成空穴在固体表面分布形成的空穴流而引起溶质原子流动的反克肯达耳效应亦大量运输原子^[2]。如果在离子射程范围内存在两种元素界面, 这些作用会使界面两侧原子交混, 交混后也常常形成新相。这种由于离子束引起的固体原子交混现象称之为离子束混合 (Ion mixing)。

B. Tsaur 等^[3]作了许多硅上 $\text{Ni}, \text{Pd}, \text{Pt}, \text{Nb}, \text{Au}$ 膜用重离子轰击后界面混合试验。认为在室温及室温以下离子束轰击以碰撞混合为主导, 室温以上温度提高逐渐以增强扩散混合占主导。近两年来离子束混合实验和理论得到很大发展, 在材料改性应用前景上也非常引人注目。本文是用 Xe^{++} 离子轰击硅上钛膜, 在室温下由于离子原子碰撞引起钛-硅界面混合形成 TiSi 。用 He^+ 背散射方法进行了测量和计算。

二、实验

用 P 型硅单晶片, $\rho \sim 1\Omega\text{cm}$, 晶面 (100), 经抛光清洗, 在 HF 溶液中去氧化层后立即放入高频溅射仪上, 在 2×10^{-5} 托真空下沉积 600 \AA 左右钛膜。(Ti 纯度 99.99%)

样品在 200keV 离子注入机上进行 Xe^{++} 双电荷离子辐照。辐照 400keV 能量, $4 \times 10^{15}\text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$, $4 \times 10^{16}\text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$, $1 \times 10^{16}\text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 三种剂量。计算 400keV Xe^{++} 在 Ti 中射程约为 $R_s \sim 930\text{ \AA}$, 比钛膜稍厚处。

辐照后样品在 2×1 串到加速器上进行 He^+ 离子背散射分析, 双电荷能量 2.34MeV ,

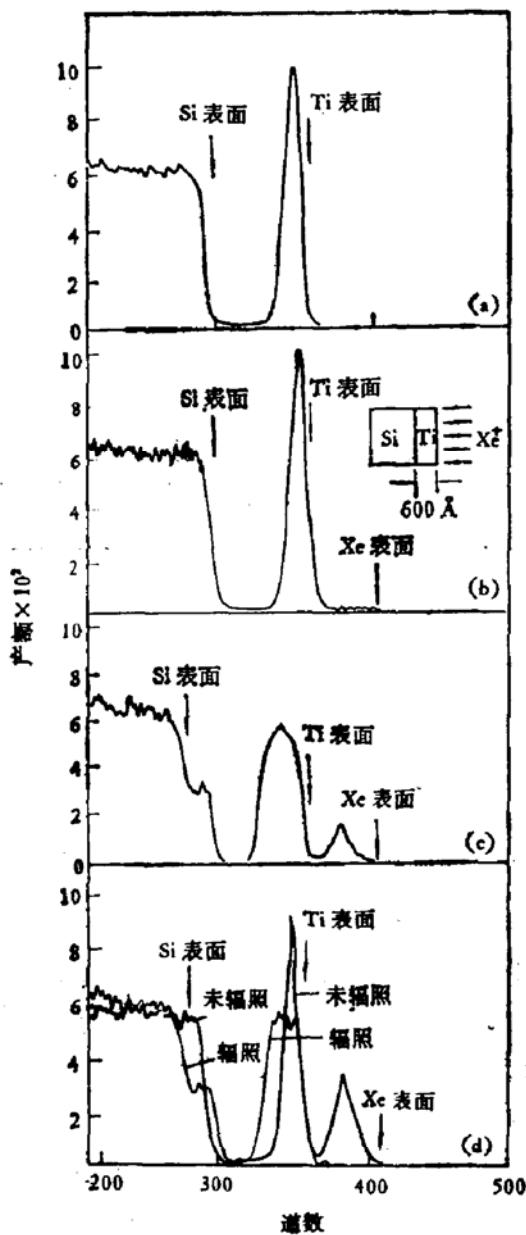


图 1 Ti-Si 离子束混合背散射能谱

(a) 未辐照 (b) 400keV, $4 \times 10^{14} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照
 (c) 400keV, $4 \times 10^{15} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照 (d) 400keV,
 $1 \times 10^{16} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照并与未辐照谱比较

用 S-80 多道分析器分析, 能量总道数 512 道, 能量道宽 5.1keV/道, 背散射角度选择 108° . 测量未辐照及三种剂量辐照样品背散射谱如图 1 (a)、(b)、(c)、(d).

三、结果分析

从 b 谱看 $4 \times 10^{14} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照并未产生可见的混合。从 c、d 谱看, $4 \times 10^{15} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 和 $1 \times 10^{16} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照产生了 Ti 和 Si 的完全混合。谱 d 同时绘出与未辐照谱的比较。

A. Ti 膜实际厚度

背散射谱上 He^+ 离子能量与深度关系

$$\Delta E = [\varepsilon]N\Delta x. \quad (1)$$

其中 $[\varepsilon]$ 为靶元素原子阻止截面, N 为靶元素原子密度.

从谱 a 测量 Ti 膜能量谱宽 21 道. 利用公式

$$[\varepsilon] = K_M \varepsilon(E_0) + \frac{1}{|\cos\theta|} \varepsilon(K_M E_0). \quad (2)$$

我们计算在 2.34MeV He^+ 束, 108° 散射角时 Ti 的阻止截面为:

$$[\varepsilon]_{\text{Ti}} = 296 \times 10^{-15} \text{eVcm}.$$

而 $N_{\text{Ti}} = 5.66 \times 10^{22}$ 原子/ cm^3 , 故计算 Ti 膜厚度 $[\Delta x]_{\text{Ti}} = 640 \text{\AA}$.

B. 混合后化合物原子比

从 c、d 谱看混合层 Ti-Si 谱高为一平台故形成了一定配比的化合物.

分别测量 Ti 和 Si 混合层谱宽及谱高, 并查出 Ti 和 Si 的散射截面 σ_{Ti} 、 σ_{Si} 由

$$\frac{m}{n} = \frac{H_{\text{Ti}}}{H_{\text{Si}}} \cdot \frac{\Delta E_{\text{Ti}}}{\Delta E_{\text{Si}}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Si}}}{\sigma_{\text{Ti}}}. \quad (3)$$

得到混合层 Ti-Si 原子比例 $m:n = 1.01$, 说明混合后形成的化合物是 TiSi .

C. 形成硅化钛的厚度

对化合物 TiSi 靶中 Ti 原子阻止截面为^[4]

$$[\varepsilon]_{\text{Ti}}^{\text{TiSi}} = K_{\text{Ti}} \varepsilon^{\text{TiSi}}(E_0) + \frac{1}{|\cos\theta|} \varepsilon^{\text{TiSi}}(K_{\text{Ti}} E_0), \quad (4)$$

$$\text{其中 } \varepsilon^{\text{TiSi}} = \varepsilon^{\text{Ti}} + \varepsilon^{\text{Si}}.$$

由此我们得到

$$[\varepsilon]_{\text{Ti}}^{\text{TiSi}} = 468 \times 10^{-15} \text{eVcm}.$$

TiSi 配比密度为 $N_{\text{TiSi}} = 3.44 \times 10^{22}/\text{cm}^3$.

因此测量 c 谱中 Ti 谱宽并由 (1) 式计算出 TiSi 厚度为 1077\AA .

四、讨 论

在室温下用 Xe^{++} 轰击可以使 Ti-Si 界面产生混合反应生成 TiSi . 400 keV, $4 \times 10^{15} \text{Xe}^{++}/\text{cm}^2$ 辐照已使 600\AA Ti 膜与 Si 衬底完全混合形成 1000\AA TiSi , 剂量再加大 TiSi 厚度、成分并无变化.

一般 Ti-Si 界面加热反应大于 500°C 时生成 TiSi , 大于 600°C 生成 TiSi_2 , 反应中主扩散元是 Si 原子^[5]. Ti-Si 界面热反应生成硅化钛动力学用背散射方法已作了详细研究^[6]. 室温下离子束混合形成的界面反应由于其反应温度比热反应生成 TiSi 低得多, 所以反应以碰撞混合为主, 界面热扩散反应并不是主要的. 提高辐照温度, 辐照扩散反应可能会逐渐变成主要因素.

由于硅化钛低电阻和高温稳定性作为集成电路门极和连线已引起广泛重视. 低温离子束混合方法生成硅化钛在控制生成硅化钛厚度上, 在防止高温烧结界面污染等方面有很大优点. 可能最终可以用于半导体金属化系统工艺上去.

参 考 文 献

- [1] B. Tsuar, S. Lau, L. Hang and J. Mayer, *Nucl. Instr and Mets.*, **182/183**, 67 (1981).
- [2] B. Tsuar, S. Matteson, G. Chapman, Z. L. Lian and M-A Nicolet, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 825 (1979).
- [3] A. D. Marwick, *J. Phys.*, **F8**, 1849 (1978).
- [4] 北师大低能核物理所, 离子注入原理与技术, p.63, 北京出版社 (1982).
- [5] K. N. Tu and J. M. Mayer, Thin Films Interdiffusion and Reaction, p. 359, The Electrochemical Society inc, New Jersey (1978).
- [6] K. N. Tu, W. K. Chu and J. W. Mayer, *Thin Solid Films*, **25**, 403 (1975).

Titanium Silicide Formed by Means of Ion Mixing

Hu Renyuan

(Low Energy Nuclear Physics Institute, Beijing Normal University)

Abstract

A new method of forming silicide on silicon has been used. A 600 Å thin film of Ti is sputtered onto Si wafer. The sample is radiated by the 400 keV Xe ion (4×10^{15} Xe^{++}/cm^2 , $1 \times 10^{16} Xe^{++}/cm^2$) at room temperature, 100 Å titanium silicide is formed by means of ion mixing effect. Backscattering of MeV He ion has been used to investigate the composition and thickness of titanium silicide.

第三届全国 ICCAD 学术会议征文通知

定于 1985 年 10 月在杭州电子工业学院召开第三届全国 ICCAD 学术会议。凡愿参加此会者请于 1985 年 3 月 31 日前将报告全文（6000 字左右，一式二份）挂号寄上海复旦大学电子工程系唐璞山处。征文内容如下：

1. 集成电路模拟程序（逻辑模拟，电路模拟，工艺模拟，器件模拟等）；
2. 集成电路晶体管模型参数优化和提取以及数学模型；
3. 集成电路版图设计程序（交互式设计，符号法设计，逻辑部件版图自动生成，自动布局布线等）；
4. 集成电路版图验证程序（几何规则检查，版图转换为电路图，电路图转换为逻辑图等）；
5. 集成电路数据库和 CAD 系统；
6. 集成电路自动测试方法及软件；
7. 集成电路版图复制系统及软件；
8. 集成电路设计方法学（用 CAD 工具设计集成电路）；
9. 其他与集成电路 CAD 有关的工作。

半导体学报编辑委员会名单

(1984年5月)

主 编	王守武
副 主 编	王守觉 李志坚 黄永宝 高鼎三
委 员 (按姓氏笔画为序)	
王 迅	王阳元 王守武 王守觉
王启明	王渭元 邓先灿 汤定元
朱恩均	过常宁 许居衍 许振嘉
闵乃本	李 卫 李志坚 李克诚
沈天慧	邹元爔 邹世昌 周 煌
郑有炓	林金庭 易明铫 罗晋生
洪 晶	俞忠钰 南德恒 莫 党
徐元森	徐葭生 唐璞山 夏建白
高鼎三	秦国刚 黄 敝 黄永宝
韩汝琦	谢希德 虞丽生