

# 快速热退火硅中微缺陷分析

徐 立

北京大学微电子学研究所, 北京 100871

钱佩信 李志坚

清华大学微电子学研究所, 北京 100084

(1991 年 12 月 24 日收到; 1992 年 3 月 31 日收到修改稿)

本文通过高剂量注砷硅的一系列快速热退火实验, 分析了注入晶格损伤恢复情况和二次缺陷生长过程。在实验结果的基础上综合研究了快速热退火硅中的微缺陷过程。

PACC: 8140E, 6170T, 6180J, 6170J

## 1. 引 言

快速热退火(RTA)技术的发展,自然而然地促使深入了解其退火机理。而 RTA 机理研究的一个重要方面就是研究 RTA 过程中的各种缺陷,它们的产生、消除、生长和演化等运动情况<sup>[1,2]</sup>。硅中离子注入产生的晶格损伤,经过快速热退火可以达到消除损伤的目的;但是,退火的同时会出现位错线和位错环等微缺陷,且随退火时间延长,这些微缺陷逐渐长大(这些微缺陷可称作二次缺陷)。

本文就是以上述微缺陷及其运动为对象,以背散射(RBS)结合沟道技术和透射电子显微镜(TEM)为分析手段,综合研究了 RTA 硅中缺陷过程和规律。

## 2. 实验与结果

实验所用样品为(100)晶向的 p 型硅片,电阻率为  $30\Omega \cdot \text{cm}$ 。室温注入  $120\text{keV}, 1 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$  砷杂质,束流控制在  $30\mu\text{A}$  以下,注入时样品倾斜  $7^\circ$ 。退火在高频感应石墨作辐射热源的快速热退火系统<sup>[3]</sup>中进行,退火温度范围为  $900\text{--}1150^\circ\text{C}$ ,每个温度下又分别以一系列不同的时间退火(3 秒至 3 小时不等)。

用 RBS 结合沟道技术分析了退火样品( $900^\circ\text{C}, 1000^\circ\text{C}, 1050^\circ\text{C}, 1080^\circ\text{C}, 1100^\circ\text{C}$  和  $1150^\circ\text{C}$ )的消除注入损伤情况,其中  $900^\circ\text{C}, 1000^\circ\text{C}$  和  $1150^\circ\text{C}$  实验结果见图 1 所示。对于  $900^\circ\text{C}$  退火温度,1 分、5 分和 20 分退火后沟道产额还相当高,虽然随时间延长,产额逐渐降低,但沟道谱结果表明,此时晶格损伤还明显存在;经 3 小时退火后,沟道产额方接近于硅单晶沟道谱,此时可认为注入损伤已基本消除。在  $1000^\circ\text{C}$  退火情况下,25 秒和 50 秒退火不足以使沟道产额降低到硅单晶值,而需 5 分钟退火才使晶格损伤消除。对于  $1050^\circ\text{C}, 1080^\circ\text{C}$  和  $1100^\circ\text{C}$  温度,也需要一定的加热时间才能使注入损伤退火完成。而在  $1150^\circ\text{C}$  高温下,只需 3 秒钟即可使注入损伤消除。

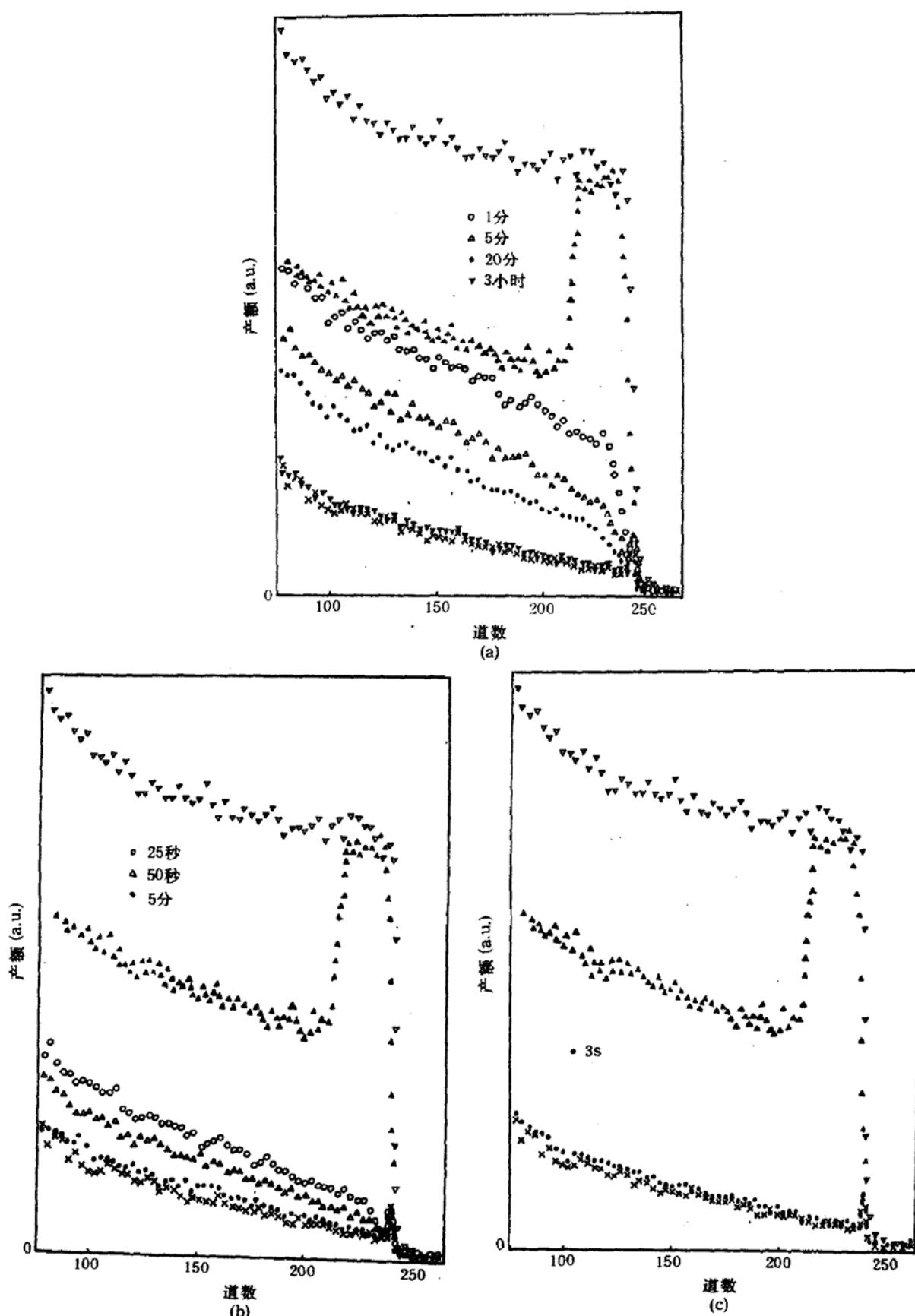


图 1 快速热退火后注砷硅的 RBS 沟道谱 (As : Si(100), 120keV,  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ )  
 (a) 900°C; (b) 1000°C; (c) 1150°C   ▲未退火   ×单晶   ▽随机谱

用透射电子显微镜观察了快速退火过程中(1150℃、1080℃、1000℃和900℃温度下,不同退火时间)的二次缺陷生长情况,其中典型TEM照片见图2(见图版I).对于1150℃3秒退火样品,由TEM观察不到明显的缺陷,表明此时既没有注入损伤也没有二次缺陷;经1150℃8秒退火,开始出现杆状位错,从图版I 2(b)上可看到平均线度约为0.3μm;时间再加长,这些位错还会长大;至1150℃30秒出现了1μm以上尺寸的位错(见图版I 2(d)).在1080℃温度下,经30秒退火后出现了平均线度0.3μm的线缺陷;进一步延长退火时间至90秒,这些位错也逐渐长大.对于1000℃5分和900℃3小时情况,TEM形貌观察可知,此时二次缺陷已经长得很大了(线度大于1μm).

### 3. 讨论

由上述RBS和TEM实验结果分析可知,消除注入损伤与二次缺陷生长过程具有各自的温度与时间的依赖关系.将某一温度下消除注入损伤所需的最短时间定义为在此温度下的消除损伤时间 $t_{re}$ ;而以某一温度下位错平均线度长大到0.3μm所需的时间定义为二次缺陷生长时间 $t_{sd}$ .作出 $t_{re}$ 与 $t_{sd}$ 与绝对温度T的关系,如图3所示,图中两条曲线的斜率即分别代表各自的激活能.由线性拟合法可得:

$$t_{re} = 3.3 \times 10^{-16} \exp[(4.5 \pm 0.3 \text{ eV})/kT] \text{ (秒)}, \quad (1)$$

$$t_{sd} = 8.37 \times 10^{-7} \exp[(2.0 \pm 0.2 \text{ eV})/kT] \text{ (秒)}, \quad (2)$$

其中4.5±0.3eV为消除损伤激活能,2.0±0.2eV为二次缺陷生长激活能.

从图3可以清楚地看出,这两个过程所需时间的倒数和绝对温度的倒数在半对数坐标上呈线性关系.由于斜率不一样(即激活能不同),使得两条曲线在1050℃附近相交.1050℃这个温度对于快速热退火性能很重要,似乎是一个临界温度.在1050℃以下的较低温度范围,消除损伤速率低于二次缺陷生长速率,温度越低,差别越大;而当温度高于1050℃以后,结果正好相反.

由于消除注入损伤的激活能较大(4.5±0.3eV),使得较低温度下完全消除损伤需要较长时间;同时,由于二次缺陷生长的激活能较小(2.0±0.2eV),使得低温下缺陷生长比消除损伤速率要快.甚至当二次缺陷已经长大到一定程度时,注入晶格损伤还未完全去除.也就是说,退火温度低于1050℃,不可能同时做到完全消除损伤和没有二次缺陷.

在温度高于1050℃情况下,由于激活能的差别,消除损伤速率高于二次缺陷生长速

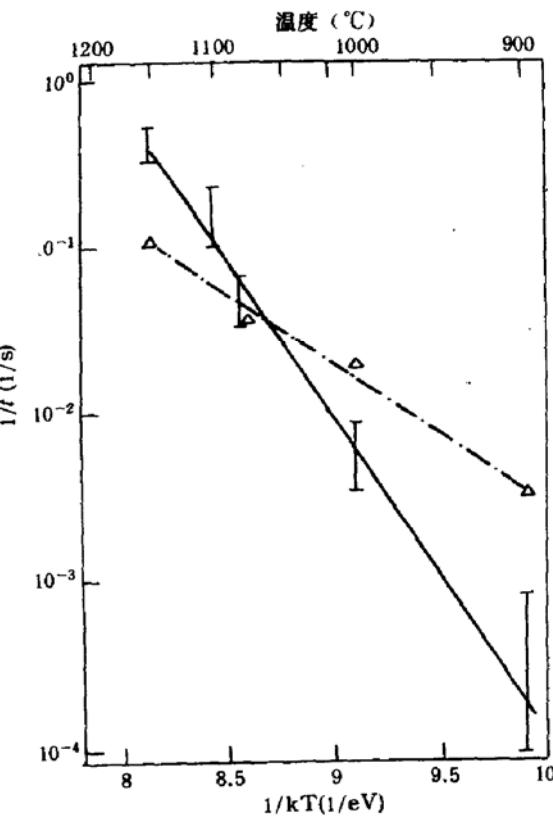


图3 快速热退火消除注入损伤与二次缺陷生长过程中温度与时间关系

(As : Si(100), 120keV,  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ )

— 消除损伤 △ 二次缺陷

率,使得高温下消除损伤时间较短,而二次缺陷生长所需时间却较长;随着温度的进一步升高,速率差别也将更大。高温下,当所有的注入晶体损伤都被消除了,还没有明显生长出二次缺陷。比较一下不同 RTA 条件下(1150°C 3 秒,1080°C 30 秒,1000°C 5 分和 900°C 3 小时),恰好完全消除注入损伤时的 TEM 形貌(分别见图 2(a,e,f 和 g))。可以看出,1150°C 3 秒时的 TEM 照片上几乎观察不到明显的缺陷存在;而 1080°C 30 秒出现了尺寸约 0.3μm 的二次缺陷;1000°C 5 分退火后缺陷进一步增多;至 900°C 3 小时二次缺陷就更多尺寸更大了。

以上讨论充分说明,由于 RTA 本身的温度和时间特点,存在一个临界温度 1050°C。只有当退火温度高于 1050°C 并选择合适的、尽可能短的退火时间,才能有效地消除注入损伤,同时抑制二次缺陷的生长。

#### 4. 结 论

从综合的观点出发,研究了快速热退火硅中微缺陷性能和规律。由于快速热退火技术本身的特点,存在一个临界温度 1050°C。只有当快速退火温度高于该临界温度并选择尽可能短的退火时间,才能有效地消除注入损伤,同时抑制二次缺陷的生长。

#### 参 考 文 献

- [1] H. Baumgart, G. K. Celler, D. J. Lischner, Mc Dobinson and T. T. Sheng, *Laser-Solid Interactions and Transient Thermal Processing of Materials*, North-Holland, NY, 1983, p. 349.
- [2] R. Komatsu and K. Kajiyama, *J. Appl. Phys.*, **56**, 486(1984).
- [3] 侯东彦,钱佩信,李志坚,半导体学报,4,579(1983).

## Defect Behavior in Ion-Implanted Silicon by Rapid Thermal Annealing

Xu Li

*Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871*

Tsien Peihsin and Li Zhijian

*Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100871*

(Received 24 December 1991; revised manuscript received 31 March 1992)

#### Abstract

A series of rapid thermal annealing(RTA) on defect behavior in high-dose As<sup>+</sup>-implanted silicon were carried out. RBS with channeling and TEM were used to analyse recovery of implantation induced crystalline damage and secondary defect evolution, respectively. On the basis of experimental results, the mechanism of defect control during RTA were comprehensively discussed.

PACC: 8140E, 6170T, 6180J, 6170J