

# 掺氮区熔硅单晶深能级的研究

来洪发 梁骏吾 邓礼生 郑红军 黄大定

(中国科学院半导体研究所,北京)

1986年12月30日收到

DLTS 测量发现,在原生掺氮区熔硅单晶中,除  $E_c - 0.20\text{eV}$ 、 $E_c - 0.28\text{eV}$  与氮相关外,  
 $E_c - 0.57\text{eV}$  能级也与氮相关。此三能级在低于  $400^\circ\text{C}$ 、经 0.5 小时退火均消失,同时测得三个与氮相关的深能级  $E_c - 0.17\text{eV}$ 、 $E_c - 0.37\text{eV}$  和  $E_c - 0.50\text{eV}$ ,并研究了它们的退火行为。

**主题词:** 深能级, 硅材料, 氮杂质

## 一、引言

近年来人们发现少量氮杂质存在于硅中可显著提高材料的机械强度,因此氮在硅中的行为引起了人们的广泛重视,其溶解度为  $4.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , 分凝系数为  $7 \times 10^{-4}$ <sup>[1]</sup>。Tokumeru 等人<sup>[2]</sup>和 Nauka 等人<sup>[3]</sup>对掺氮区熔硅的深能级进行了研究。文献[4—6]报道了我们对其力学性能、光学性能和电学性能的研究结果。

本文对氮在硅中引入的深能级及其退火行为进行了研究。

## 二、实验

本实验所用样品为 n 型掺氮区熔硅单晶,电阻率为  $45\Omega\text{-cm}$  左右,氮杂质浓度由 FTIR 测定为  $1.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , Schottky 势垒二极管由表面蒸金得到。我们在  $77$ — $400\text{K}$  温度范围内,分别进行了原生掺氮区熔硅单晶样品,  $300$ — $900^\circ\text{C}$ 、0.5 小时等时退火样品和  $0.5$ — $10$  小时、 $750^\circ\text{C}$  等温退火样品的 DLTS 谱的测量。

## 三、实验结果和讨论

图 1 为原生样品的 DLTS 谱,出现四个能级峰,由  $\ln c_s T^{-2} \sim 1/T$  曲线可确定其能级位置分别为  $E_c - 0.14\text{eV}$ 、 $E_c - 0.20\text{eV}$ 、 $E_c - 0.28\text{eV}$  和  $E_c - 0.57\text{eV}$ 。与文献[2]对比,可知  $E_c - 0.14\text{eV}$  能级与氮无关是由氧引起的,而与氮相关的两个能级  $E_c - 0.19\text{eV}$  和  $E_c - 0.28\text{eV}$  均在我们的样品中观察到,所不同的是我们还观察到  $E_c - 0.57\text{eV}$  的能级,由于不掺氮样品中未观察到这一能级,因此可断定与氮杂质相关。

将样品分别在温度为  $300$ 、 $400$ 、 $500$ 、 $\cdots$   $900^\circ\text{C}$  条件下,进行 0.5 小时等时退火;在时

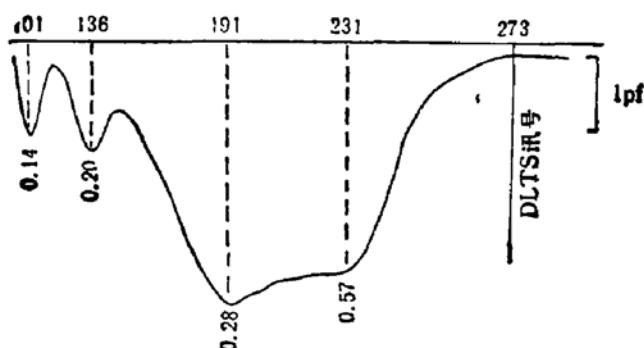


图1 原生掺氮样品的 DLTS 谱

间为 0.5、1、2、5 和 10 小时条件下，进行 750℃ 等温退火，之后进行 DLTS 测量。图 2 给出了等时退火后与氮相关能级变化，表 1 给出了等温退火后与氮相关的能级数据。

原生晶体	300℃ 退火	400-750℃ 退火	800℃ 退火	900℃ 退火
— 0.20	— 0.17	— 0.28	— 0.28	— 0.37
— 0.28	— 0.37	— 0.57	— 0.57	— 0.37
— 0.57	— 0.50			

图2 掺氮样品 0.5 小时等时退火与氮相关能级的变化，单位 eV

表1 掺氮样品 750℃ 等温退火后的能级数据

退火时间 (小时)	能级位置 $E_c - E_T$ (eV)	能级密度 $N_T$ ( $\text{cm}^{-3}$ ) <sup>a</sup>
0.5	0.17	$2.1 \times 10^{15}$
	0.37	$7.0 \times 10^{13}$
	0.50	$3.5 \times 10^{13}$
1	0.17	$1.7 \times 10^{15}$
	0.37	$4.4 \times 10^{13}$
	0.50	$2.9 \times 10^{13}$
2. 5. 10	无能级峰	

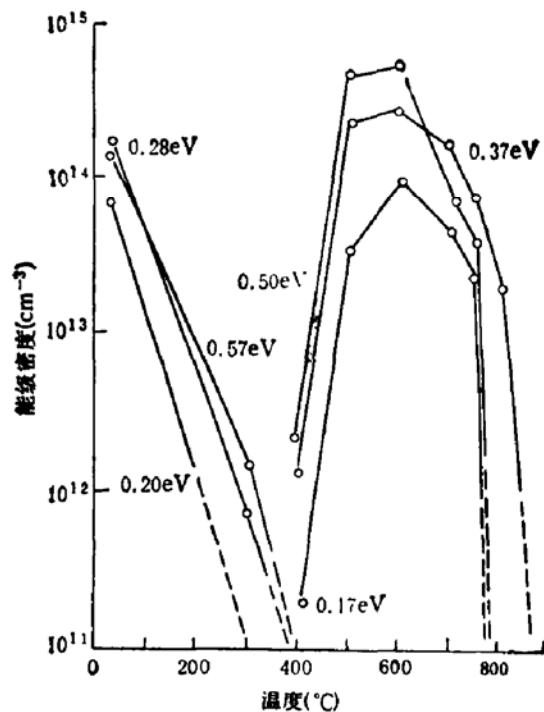


图3 能级密度随退火温度的变化

<sup>a</sup> 由于样品电阻率为  $45\Omega\cdot\text{cm}$ ，这里和图 3 所列浓度值只具有相对意义。

图3给出了与氮相关能级密度在0.5小时等时退火下随退火温度的变化。由上可见，经300℃、0.5小时退火，能级 $E_c - 0.20\text{eV}$ 消失，400℃、0.5小时退火， $E_c - 0.28$ 和 $E_c - 0.57\text{eV}$ 两能级均低于检测极限，同时形成三个新能级 $E_c - 0.17$ 、 $E_c - 0.37$ 和 $E_c - 0.50\text{eV}$ ，与未掺氮样品对比，可知此三能级均与氮杂质相关。其能级密度随温度上升而增加，600℃时均达极大，而后随温度上升而减小，800℃、0.5小时退火，只观测到 $E_c - 0.37\text{eV}$ 一个能级，经900℃、0.5小时或750℃、2小时以上退火，所有能级均消失。因此氮在硅中引入的深能级均可经高温退火消除。

#### 四、结 论

1. 在原生掺氮n型区熔硅单晶中存在 $E_c - 0.20$ 、 $E_c - 0.28$ 和 $E_c - 0.57\text{eV}$ 三个与氮相关的能级，他们在低于400℃、经0.5小时退火均可消除。
2. 在温度高于400℃退火又出现 $E_c - 0.17$ 、 $E_c - 0.37$ 和 $E_c - 0.50\text{eV}$ 三个与氮相关的能级，它们在900℃以下、经0.5小时退火或750℃、2小时以上退火均可消除。因此氮引入的所有深能级均可通过退火消除。

作者感谢本所深能级组和中国科技大学研究生院半导体教研室的大力协作。

#### 参 考 文 献

- [1] Y. Yatsurugi, N. Akiyama, Y. Endo and H. Nozaki *J. Electrochem. Soc.*, **120**, 975, (1973).
- [2] Y. Tokumaru, H. Okushi, T. Masui and T. Abe *Jpn. J. Appl. Phys.*, **21**, L443 (1982).
- [3] K. Nauka, M. S. Goorsky, H. C. Gatos and J. Lagowski, *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 1341 (1985)
- [4] 梁骏吾、邓礼生、范继文、郑红军、刘风祥，第三届全国半导体集成电路、硅材料学术会论文集，p. 30, (1983)。
- [5] 梁骏吾、邓礼生、秦洪发、郑红军，第四届全国半导体集成电路、硅材料学术会论文集，p. 48, (1985)。
- [6] J. W. Liang, L. S. Deng, H. F. Luan and H. J. Zheng *Proceeding of the International Conference on Semiconductor and Integrated circuit Technology*, eds. Z. Y. Wang and B. X. Mo, p. 771, (1986).

### Deep Level Investigation of N-Doped FZ Si Crystals

Luan Hongfa, Liang Junwu, Deng Lisheng

Zheng Hongjun and Huang Dading

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

#### Abstract

The deep levels related to nitrogen in N-doped FZ Si crystals were studied by DLTS. Level located at  $E_c - 0.57\text{eV}$  related to nitrogen was observed besides the two levels,  $E_c - 0.20\text{eV}$  and  $E_c - 0.28\text{eV}$ , observed by others. After annealing at 400℃ for 0.5 hr., the three levels vanished and three new levels related to nitrogen were formed. They were located at  $E_c - 0.17\text{eV}$ ,  $E_c - 0.37\text{eV}$  and  $E_c - 0.50\text{eV}$ . Their annealing behavior was studied.

**KEY WORDS:** Silicon, Deep levels, Nitrogen impurity