

# B<sup>+</sup> 和 P<sup>+</sup> 离子注入在 n-Si 中产生缺陷能级的进一步研究\*

孙璟兰 陈建新\*\* 李名复  
(中国科学技术大学研究生院)

1986年6月17日收到

用快速的电流 DLTS 和最低温度达 10K 的低温样品架对过去报道过的 n 型 Si 中 B<sup>+</sup>, 200keV,  $2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  和 P<sup>+</sup>, 240keV,  $4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  离子注入产生的新能级重新作了测量。在注 B<sup>+</sup> 样品中, 发现三个新的电子陷阱 E<sub>s</sub>(0.16), E<sub>r</sub>(0.15), E<sub>t</sub>(0.08), 其中 E<sub>r</sub> 具有很大的浓度。在注 P<sup>+</sup> 样品中, 发现二个新的电子陷阱, 其中 E<sub>r</sub> 与注硼样品属于同一种中心, 因此可能与硼无关。另一个 E<sub>t</sub>'(0.09)。

## 一、引言

我们在文献[1], [2] 中曾对 B<sup>+</sup> 和 P<sup>+</sup> 离子分别注入 n-Si 中产生的缺陷深能级及其退火行为用电容 DLTS 方法作了比较系统的研究。本文在此基础上将测量手段加以扩充, 一方面将原来的液氮杜瓦样品架扩充到美国 Air Products DE202 闭路氦低温系统, 最低温度可低至 10K, 但由于低温时浅能级不再全电离<sup>[3]</sup>, 引起串联电阻增大, 电容 DLTS 峰将降低甚至反号<sup>[4]</sup>。在实际低温测量系统中, 由于引入长的同轴电缆, 此种效应将比[4]所估算的更为严重。因此我们还自行研制了快速的电流 DLTS 测量系统, 将最高率窗提高到 6.6 μs, DLTS 峰位都较电容 DLTS 峰位温度大大提高。经过这样扩充的系统重新测量原来的样品, 发现了一些新的缺陷峰, 这些峰过去都从未报道过, 对完整地了解离子注入产生的缺陷具有重要的价值。

## 二、实验和结果

实验所用样品制备在文献[1][2]中已详细报道。在本文工作中, 对这些样品中具有代表性的 280°C 和 400—450°C 退火的注 B<sup>+</sup> 和注 P<sup>+</sup> 样品进行了重点的测量, 测量结果列于图 1—2 以及表 1、2 中, 并且和文献[1][2]的结果作了比较。文献[1][2]中已经测到过的能级仍用原来的标记, 现总结为以下几点:

- 扩充的测量系统没有发现新的空穴陷阱, 因此下面限于讨论电子陷阱。

\* 中国科学院科学基金资助课题。

\*\* 北京工业大学微电子学研究室

2. 文献[1][2]电容 DLTS 谱中 100K 温度以上的深能级  $E_1$ — $E_4$  峰与本工作中电流 DLTS 测量结果在峰高和能级位置上具有很好的一致性。

3. 对于注  $B^+$  样品, 在[1][2]中, 100K 以下的 DLTS 陷阱峰, 有的温度太低, 根本测不到, 有的混在一起无法分辨。本文用快速的电流 DLTS 将率窗速度提高三个数量级, 从而 DLTS 陷阱峰位向高温移动, 另一方面样品架具有更低的最低温度, 因此测到几个新峰, 这是本文的主要结果, 示于图 1。对于 280°C 退火样品, 其中包括原来测到的  $E_1$  峰, 一个很小的  $E_6$  峰和一个极大的  $E_7$  峰, 还在低温处得到一个小的  $E_8$  峰。它们的能级位置列于表 1。对于 445°C 样品,  $E_7$  峰显著减小, 而  $E_6$  峰基本保持原来浓度。虽然也测到另外二个峰  $E'_6$   $E'_5$ , 但  $E'_6$  的峰位与 280°C 退火时的  $E_6$  峰位并不一样, 而且幅度反而增大, 因此可能是由 280°C 退火中其它缺陷转化产生。 $E'_5$  的峰位与 280°C 退火时的  $E_5$  峰位也不完全一样, 被认为 445°C 退火引起其它缺陷转化而成, 其微观结构与  $E_5$  并不完

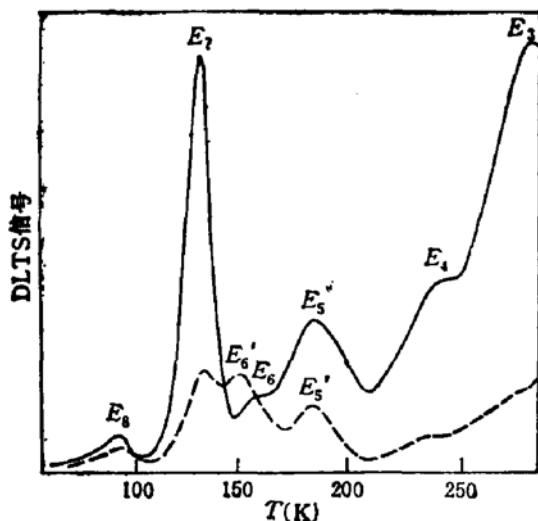


图 1 注  $B^+$  200keV,  $2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  于 n型 Si 中产生的电子陷阱电流 DLTS 谱。脉宽  $5\mu\text{s}$ , 率窗  $6.6\mu\text{s}$ , 测温用热电偶为镍铬/金 0.07% 铁。  
——280°C 退火, - - - 445°C 退火。

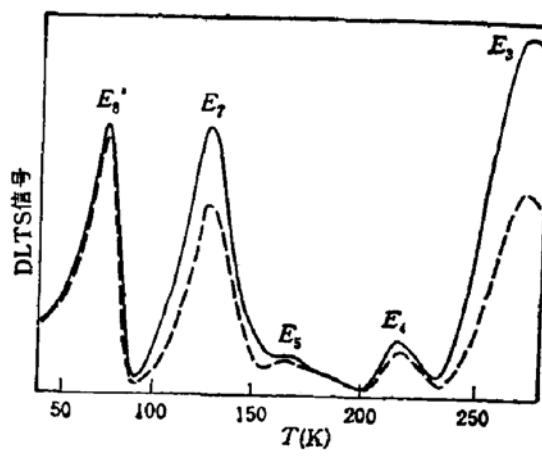


图 2 注  $P^+$  240 keV,  $4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  剂量于 n-Si 中产生的电子陷阱电流 DLTS 谱。脉宽  $5\mu\text{s}$ , 率窗  $6.6\mu\text{s}$ , 测温用热偶同图 1。  
——280°C 退火, - - - 400°C 退火。

表 1 本文测到的  $B^+$  200KeV 剂量  $2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  注入 n-Si 引入的低温 DLTS 峰位对应的电子缺陷能级。

	能 量	备 注
$E_1$	$E_C - 0.16$	
$E'_6$	$E_C - 0.16$	
$E_6$		太小无法测准
$E'_5$	$E_C - 0.16$	
$E_7$	$E_C - 0.15$	与 B 无关
$E_8$	$E_C - 0.08$	

表 2 本文测到的  $P^+$  240KeV, 剂量  $4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  注入 n-Si 引入的低温 DLTS 峰位对应的电子缺陷能级。

	能 量	备 注
$E_7$	$E_C - 0.15$	与注 $B^+$ 样品中 $E_7$ 一致, 与 B 无关
$E'_6$	$E_C - 0.09$	

全相同。

4. 对于注  $P^+$  样品, 在 280°C 及 400°C 退火的样品中, 在低温处都测到  $E_7$ 、 $E_8''$  两个新能级, 如图 2 和表 2 所示。其中  $E_7$  峰位温度和退火行为与注  $B^+$  样品中  $E_7$  一致, 因此是同一种缺陷, 并被认为是与 B 无关。 $E_8''$  是注  $P^+$  样品特有的峰, 它在 400°C 退火时仅有少部分的退化。

### 三、总 结

用最高率窗为 6.6 μs 的电流 DLTS 测量系统和最低温 10K 的样品架测量了 n 型 Si 中离子注入产生缺陷及退火行为。对于注  $B^+ 200 \text{ keV}, 2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  样品除重复得到 [1][2] 报道的  $E_1-E_4$  能级外, 对 280°C 退火样品测到  $E_5(0.16)$ 、 $E_6$ 、 $E_7(0.15)$ 、 $E_8(0.08)$  电子陷阱。其中  $E_7$  是主要的, 对 445°C 退火样品同样测到四个电子陷阱, 其中除  $E_7(0.15)$ 、 $E_8(0.08)$  外,  $E_5'(0.16)$ 、 $E_6'(0.16)$  与 280°C 退火时  $E_5$ 、 $E_6$  峰位温度不一致, 可能是退火转化而成。对于注  $P^+ 240 \text{ keV}, 4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  样品除重复得到 [1] 中报道的  $E_1-E_4$  能级外, 还测到  $E_7(0.15)$ 、 $E_8''(0.09)$  两种电子陷阱。对比以上结果,  $E_7$  可能是与 B 无关的。最后, 没有测到文献[1] 报道之外新的空穴陷阱。

感谢李言谨同志在离子注入和电流 DLTS 测量上所做的部分工作。

### 参 考 文 献

- [1] Chen Jian-Xin, Li Ming-Fu and Li Yan-Jin, *Chinese Physics Letter*, 2, 401 (1985).
- [2] 陈建新、李名复, 李言谨, *半导体学报* 7, 363(1986).
- [3] T. J. Woodley and C. Tsah, *Solid state Electronics* 20, 385 (1977).
- [4] A. Broniatowski, A. Blosse, P. C. Srivastava and J. C. Bourgois *J. Appl. Phys.*, 54, 2907 (1983).

## Further Investigation of Electron Traps Induced by $B^+$ and $P^+$ Ion Implantation in n-Si

Sun Jinglan, Chen Jianxin and Li Mingfu

(Graduate School, University of Science and Technology of China)

### Abstract

Deep traps in n-Si induced by  $B^+$  ( $200 \text{ keV}, 2.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ) and  $P^+$  ( $240 \text{ keV}, 4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ) implantation are reinvestigated by an extended DLTS system of fast current DLTS and low temperature refrigerator. For  $B^+$  implanted samples, three new electron traps with  $E_5(0.16)$ ,  $E_7(0.15)$  and  $E_8(0.08)$  are reported. For  $P^+$  implanted samples, two new electron traps of  $E_7(0.15)$  and  $E_8''(0.09)$  are reported.  $E(0.15)$  which appears in both  $P^+$  and  $B^+$  implanted samples with large concentration is tentatively assigned to be unrelated to  $B^+$  impurities.