

Pd 在 P-Si 中的物理行为*

周 洁 阮圣央 郝 虹 葛惟锐

吉秀江 李树英

(中国科学院半导体研究所)

1986年2月21日收到

本文详尽地报道了 Pd 在 P-Si 中的物理行为, 并对它的两个主要能级 H(0.16) 和 H(0.33) 的本质作了初步鉴别。

一、引 言

杂质 Pd 在 P-Si 中的行为报道甚少, 关于 H(0.33) 这一能级已有一些作者报道过^[1], 但只是报道了能级位置, 而其它特性如荷电状态、在晶格中所处的位置等尚有不同的说法。本文在不同掺杂剂与不同掺杂硼浓度的掺 Pd P-Si 中都获得了 H(0.16) 和 H(0.33) 两个主要能级, 发现它们之间有着密切的联系, 于是对其在晶格中所处的状态、荷电状态以及相应的电子结构等进行了探讨。

二、实验结果

1. 采用与 N-Si 相同的扩散与淬火工艺^[2], 在 P-Si 中引入 Pd, 关于不同掺杂杂质 (B, Al, Ga) 与不同掺杂 B 浓度 (1.5×10^{15} — $1.9 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$) 以及不同结结构 (肖特基势垒二极管 (SBD) 与 N^+PP^+ 深扩结) 中与 Pd 有关的深能级的位置与浓度大小由图 1 所示。

表 1 P-Si 中 Pd 能级的浓度与电子辐照剂量间的关系

剂量 (cm^{-2})	浓度 (cm^{-3})	N_T		
		H(0.16)	H(0.33)	H(0.57)
0		3.57×10^{13}	3.62×10^{13}	1.42×10^{12}
3.03×10^{13}		4.21×10^{13}	4.18×10^{13}	—
3.00×10^{14}		4.46×10^{13}	4.51×10^{13}	—
6.00×10^{14}		5.83×10^{13}	5.81×10^{13}	—
2.00×10^{15}		1.15×10^{14}	1.19×10^{14}	—

由图 1 可见, 在 P-Si 中得到与 Pd 有关的主要有三个能级 H(0.16)、H(0.33) 和

* 本工作为国家自然科学基金资助项目。

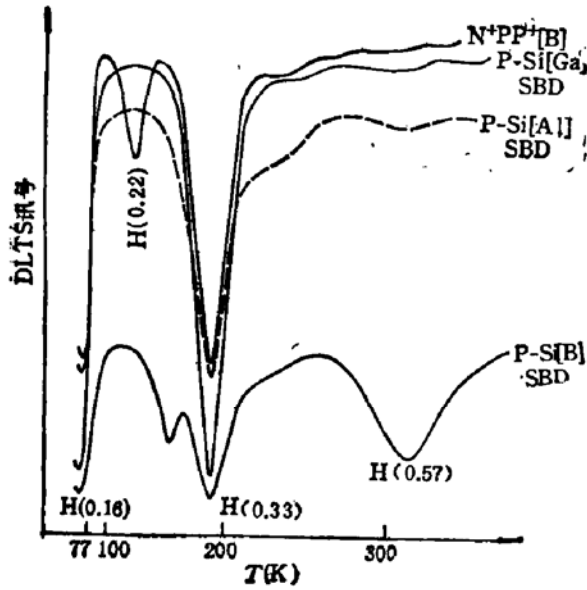


图 1 P-Si 中的 Pd 能级

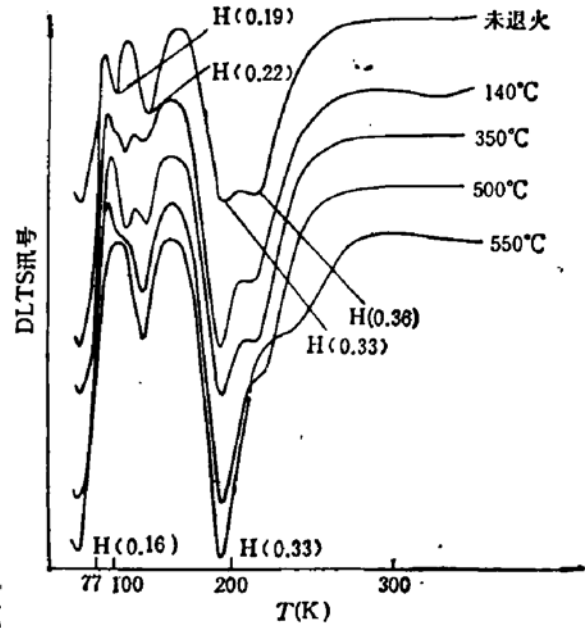


图 2 扩 Pd P-Si 样品电子辐照后的退火行为

表 2 扩 Pd P-Si 样品中电子辐照后多子与少子能级的退火结果

浓度 (cm^{-3})	N_T						
	H(0.16)	H(0.19)	H(0.22)	H(0.33)	H(0.36)	E(0.37)	E(0.62)
退火 温度($^{\circ}\text{C}$)							
室温	4.48×10^{13}	1.90×10^{13}	2.33×10^{13}	4.51×10^{13}	4.28×10^{13}	4.89×10^{13}	4.91×10^{13}
120	4.99×10^{13}	1.68×10^{13}	2.33×10^{13}	4.96×10^{13}	4.61×10^{13}	1.08×10^{13}	1.11×10^{13}
160	6.56×10^{13}	—	2.34×10^{13}	6.46×10^{13}	4.59×10^{13}	—	—
350	6.56×10^{13}	—	2.33×10^{13}	6.46×10^{13}	4.59×10^{13}	—	—
500	7.52×10^{13}	—	2.38×10^{13}	7.48×10^{13}	4.59×10^{13}	—	—
550	7.98×10^{13}	—	2.89×10^{13}	7.99×10^{13}	—	—	—

H(0.57), 现主要分析在不同掺杂杂质、不同结的结构掺 Pd 样品中都出现的、浓度较大的两个能级 H(0.16) 和 H(0.33)。

2. 以不同剂量 (6.9×10^{12} — $6.0 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$, 能量为 5MeV; $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$, 能量为 1.6MeV) 对掺 Pd P-Si 样品进行电子辐照, 其对能级浓度的影响, 见表 1 所示。

由表 2 可见, H(0.16) 和 H(0.33) 能级的浓度在较小剂量时, 虽有增长的趋势, 但增加量不甚明显, 直至较大剂量时, 才有明显的增长。H(0.57) 这一能级经电子辐照后就消失了。

3. 选择某一剂量电子辐照的样品, 在 100—550 $^{\circ}\text{C}$ 每相隔 20—50 $^{\circ}\text{C}$ 进行等时退火, 样品在辐照后又引入了 H(0.19) 和 H(0.36) 等缺陷能级, 这些能级的退火行为分别见图 2 与表 2 所示。表 2 中还列入了扩 Pd P-Si 样品的少子谱中 E_{TA} 和 E_{TB} 能级^[2]的退火结果。

由表 2 可见, 当 P-Si 少子谱中, 我们曾辨认为 Pd-B 络合物的两个相应能级 E(0.37) 和 E(0.62) 在 160 $^{\circ}\text{C}$ 附近退火消失时, H(0.16) 和 H(0.33) 两个能级的浓度相应增加

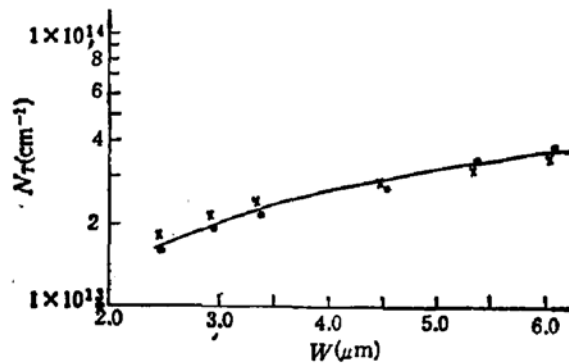


图3 H(0.16) 和 H(0.33) 的能级分布图 × H(0.33) ● H(0.16)

了,约增加了30%。此时,相应结电容亦有明显的变化。

4. 通过 DDLTS 测量了 H(0.16) 和 H(0.33) 两个能级的分布^[3]。在 P-Si 的 SBD 样品上,加固定直流负偏压 20 伏,改变两个脉冲的峰高(其差值固定为 1 伏),得到相应的能级分布见图 3 所示。

5. 利用 DDLTS 测定了 H(0.16) 和 H(0.33) 两个能级的俘获截面的温度关系,得到能级 H(0.16) 的 $\sigma_p = 2.2 \times 10^{-17} \text{cm}^{-2}$ (80—90°C), 能级 H(0.33) 的 $\sigma_p = 9.5 \times 10^{-16} \text{cm}^{-2}$ (160—260K), 这两个能级的空穴俘获截面在上述温度范围内几与温度无关。

三、讨 论

1. 由图 1 可见,由于 H(0.16) 和 H(0.33) 在不同掺杂剂的 P-Si 中都存在而且能级位置也相同,因此这些能级的形成是与掺杂杂质的种类无关的,同时也不可能是浅杂质与 Pd 的‘对’能级。

2. 从图 2 可见,由辐照引入的 H(0.19) 和 H(0.36) 等缺陷能级,它们与 Pd 有关的能级之间并不存在相互作用。

3. 在辐照实验中得到, H(0.16) 和 H(0.33) 这两个能级的浓度随辐照剂量的增加有明显增长的趋势,说明了这两个与 Pd 相关的能级与辐照引入的主要缺陷-空位可能密切相关。

4. 在辐照后的退火实验获悉,当扩 Pd P-Si 的少子谱中与间隙 Pd 密切有关的 E_{TA} 和 E_{TB} 两能级,在 160°C 附近解体时,相应地, H(0.16) 和 H(0.33) 两能级的浓度也随之明显地增长,这与 N-Si 中 E_{TC} 和 E_{TD} 能级的行为类似^[4],说明这两能级与间隙 Pd 也是密切有关的。

5. 如果 H(0.16)、H(0.33) 两能级与间隙 Pd 直接有关的话,它们的热稳定性应较差,当退火至 550°C,这两个能级的浓度不但没有减小,反而有增长趋势,说明这两个缺陷能级的电子组态是很为稳定的,其中 Pd 已改变了原先的间隙位置。

6. 从俘获截面的数据分析, H(0.33) 能级的空穴俘获截面要比 H(0.16) 的约大两个量级,也即 H(0.33) 能级更易俘获空穴,可能为受主型的,另外根据退火温度 > 160°C,样品结电容不随退火温度变化这一实验事实推测, H(0.16) 能级可能为施主型的,这种判

断与 3d 过渡元素在 Si 中的行为也是一致的^[1]。

7. 由 H(0.16) 和 H(0.33) 两能级的浓度大小与分布的数据分析, 它们不仅存在于不同种类掺杂杂质的样品中, 而且浓度几乎相等, 分布也是相同的, 因此有理由认为它们是不同的带电态的同一中心的与钯有关的缺陷能级。但在相同的扩散条件下, 它们的浓度要比 E_{TD} 能级低一个量级左右^[4], 说明了它们的形成要比 E_{TD} 更为困难, 反映了这两能级的电子结构要比 E_{TD} 更为复杂, 这种络合物的热稳定性很高, 退火至 550°C, 其浓度仍有增长趋势。

四、结 论

扩 Pd P-Si 中产生的两个主要能级 H(0.16) 和 H(0.33), 它们是同一中心, 但带电态是不同的, 推测前者为施主, 后者为受主, 它们的电子结构是较为复杂的。

本工作受到黄昆教授的指导与支持, 在此表示深切的谢意。

参 考 文 献

- [1] M. S. Yunusov and N. A. Tursunov, *Sov. Phys. Semicond.*, 8, 47 (1974). J. A. Pals, *Solid State Electron.*, 17, 1139 (1974).
Lingkon So and Sorab K. Ghandhi, *Solid State Electron.* 20, 113 (1977).
- [2] 阮圣央 周洁 张砚华 吉秀江 郑乘茹 李树英 杨锡权 谭飞 半导体学报, 5, 266 (1984).
- [3] H. Lefevre and M. Schulz, *Appl. Phys.*, 12, 45 (1977).
- [4] 周洁 阮圣央 郝红 葛惟锟 吉秀江 李树英, *Chinese Phys. Lett.*, 3, 5 (1986).
- [5] E. K. Weber, *Appl. Phys.*, A30, 1 (1983).

Physical Behavior of Pd in p-Si

Zhou Jie, Ruan Shengyang, Hao Hong, Ge Weikun, Ji Xiujiang and Li Shuying
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The physical behavior of Pd in p-type silicon is reported. The nature of its two main energy levels H(0.16) and H(0.33) has been preliminarily identified.