第8卷 第2期 半导体学报 Vol. 8, No. 2
1987年3月 CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS Mar., 1987

硅中铂杂质能级的电子辐照效应

龚敏 游志朴
(四川大学物理系)

1985年12月30日收到

观测到掺铂硅中 $E_c-0.23$eV 能级的 DLTS 信号因电子辐照而衰减，而 $E_v+0.32$eV 能级则对电子辐照不敏感. 这一实验结果使我们认为，掺铂硅中的两个能级不是与同一个深中心有关的.

一、引言

已经知道铂 (Pt) 在硅中引入两个主要的深能级 $E_v+0.32$eV 和 $E_c-0.23$eV[1,2]. 欲进一步认识硅中铂的性质，应了解的问题之一自然是：这两个能级是出自同一 Pt 有关的深中心呢，还是相应于不同的 Pt 有关的缺陷？本文简要报道对电子辐照掺铂硅 p^+n 和 n^+p 结的 DLTS 测量结果. 我们的初步工作表明：铂在硅中引入的这两个深能级很可能是由不同的缺陷中心所产生.

二、实验和结果

在 8Ωcm 的 n 型和 p 型直拉单晶硅片、40Ωcm 的区熔 n 型单晶硅片上分别扩硼和磷制得 p^+n 和 n^+p 结，结深约 2μm. 以氯铂酸的乙醇溶液为源，作涂源铂扩散，扩散温度约 900℃，时间 1 小时. 样品两面蒸铝后腐蚀成台面供测试使用。为了进行对比，一部分样品未掺铂. 电子辐照是在四川大学原子核科学技术研究所的静电加速器上进行的，电子能量为 1.8MeV，注量为 3×10^{14}—$2\times10^{15}e/cm^2$. 除进行 DLTS 测量外，还用 DLTS 谱仪上的电容仪测量了样品的 C-V 特性.

掺铂硅中的 $E_c-0.23$eV (以下简称 Pt_A) 和 $E_V+0.32$eV (简称 Pt_B) 两个能级电子辐照前后的 DLTS 谱如图 1 所示. 可以看出，Pt_A 能级的 DLTS 信号经低注入剂量 ($3\times10^{14}e/cm^2$) 电子辐照后就急剧减小，而 Pt_B 的 DLTS 信号辐照前后无明显变化.

图 1 中 E_1 为氧空位对 (V·O)，E_3 为双空位的负电荷态 (V_2^-) 的 DLTS 信号. 由于双空位双负电荷态(V_2^{--})与 n 型硅中的 Pt_A 能级都为 $E_c-0.23$eV，且有十分接近的电子俘获截面：$\sigma_n(Pt_A)=7\times10^{-15}cm^2$[1]；$\sigma_n(V_2^{--})=6\times10^{-15}/cm^2$[3]，因此图中的 E_2 峰是这两个能级信号之和. 测量未掺铂样品的 V_2^{--} 的 DLTS 信号，并求 E_2 与它的差，可以得出 Pt_A 信号随辐照注量的变化如图 2 所示. 将经过 $3\times10^{14}e/cm^2$ 电子辐照后的样品作每步半小时的等时退火. 由图 3 可以看到，大约 400℃ 后 Pt_A 谱峰恢复到原状.

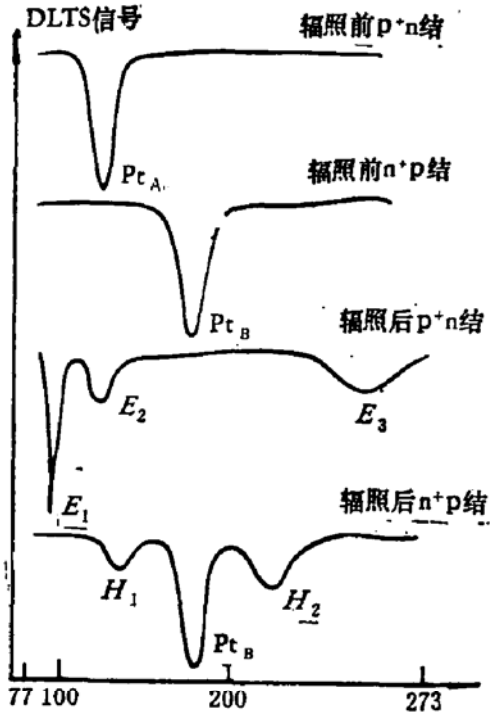

图 1 掺铂 p^+n、n^+p 样品电子辐照前后的 DLTS 谱

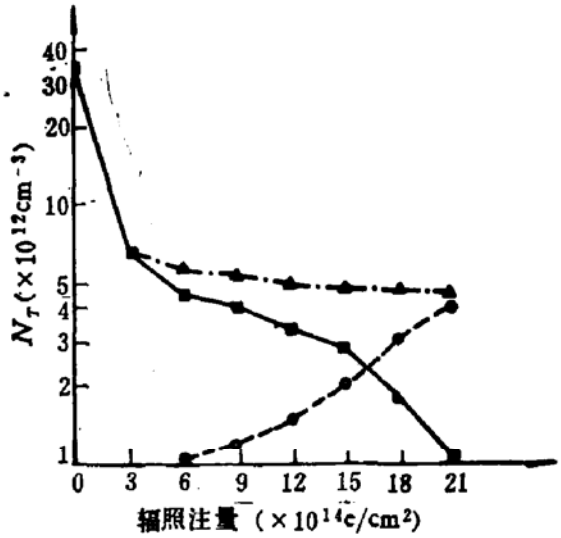

图 2 p^+n 样品中 Pt_A 能级浓度随辐照注量的变化

Pt_A—■, E_2---▲, V_2^-—●

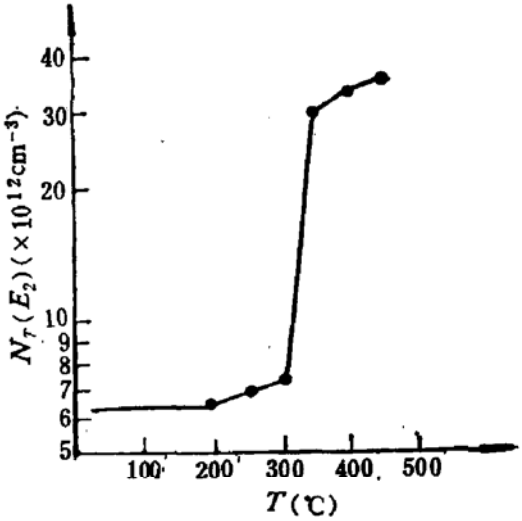

图 3 电子辐照掺铂样品 p^+n 结 Pt_A 峰的退火特性

三、讨 论

DLTS 谱信号因辐照而减弱的记录在文献 [4] 中曾报道过. 经 $3\times10^{15}n/cm^2$ 中子辐照后 p^+n 结中 (V·O) 中心的 DLTS 谱信号消失,这是由于辐照所引入的受主型深中心使 n 型样品的费米能级向禁带中央移动,当其下降到 (V·O) 中心的能级 $E_c-0.17eV$ 之下时,该能级上电子占据率变得极低,从而观测不到 DLTS 信号.

但是在本实验中,当 Pt_A 谱峰大幅度下降之后,仍然观测到强度与未掺铂辐照样品相近的(V·O)中心信号(如图 1 所示),这表明费米能级仍在 $E_c-0.17eV$ 以上,因而不可能影响 $Pt_A=E_c-0.23eV$ 能级上的电子占据率. C-V 测量表明,在本实验所用的辐照注量范围内,p^+n 结样品 n 型掺铂硅中有效电子浓度为 3×10^{14}—$2\times10^{14}/cm^3$ 之间. 而在

40Ω·cm 的 n 型硅片(电子浓度约为 $2\times10^{14}/cm^3$) 制得的掺铂 p^+n 结中，测得的 Pt_A 能级的浓度与 8Ω·cm 样品中测得的结果未见显著区别．这些事实说明，本实验观测到的 Pt_A 谱信号在中子辐照下消失的机理是不同的，Pt_A 谱峰的减弱不是由于费米能级移动的结果．

既然排除了费米能级的影响，另一种可能性就是产生 Pt_A 能级的深中心浓度因电子辐照而减少了，即这个中心与电子辐照缺陷相互作用形成了新的缺陷复合体．由于未观测到新的 DLTS 谱峰，这种新复合体很可能是非 DLTS 活性的．在退火过程中，新的缺陷复合体逐渐解体，Pt_A 谱峰又恢复到原来的高度(图 3)． 如我们已报道，该中心直到 700℃ 仍未见衰退[2]．

由图 2 可以看到，在 $3\times10^{14}e/cm^2$ 的电子辐照后，原浓度为 $3\times10^{13}/cm^3$ 的 $E_c-0.23eV$ 能级的 DLTS 信号几乎消失，这表明新的缺陷复合体的浓度在 $3\times10^{13}/cm^3$ 左右，即该复合体的产生率达 0.1/cm，这远比 2MeV 电子辐照中双空位的产生率 (0.01/cm) 高[3]，所以 $E_c-0.23eV$ 峰的下降与双空位的引入无关，更不可能是铂与双空位的复合体．我们估计这一个新复合体是铂-空位对．

电子辐照后 n^+p 样品的 Pt_B 谱峰并不发生变化，即 Pt_B 所对应的缺陷中心不与电子辐照缺陷相互作用． 这表明，Pt_A 能级与 Pt_B 能级很可能是由不同的与铂有关的深中心所产生．

有关铂在硅中的性质尚需进一步研究．

参　考　文　献

[1] S. D. Brotherton, P. Bradley and J. Bicknell, *J. Appl. Phys.* **50**, 3396 (1979).
[2] 游志朴，龚敏，陆继镛，崔新强，半导体学报，**7**, 85(1986).
[3] A. O. Evwaraye and E. Sun, *J. Appl. Phys.*, **47**, 3776 (1976).
[4] 杜永昌，张玉峰，秦国刚，孟祥提，物理学报，**33**, 477(1984).

Electron Radiation Effect on Platinum-Related Deep Levels in Silicon

Gong Min and You Zhipu

(Department of Physics, Sichuan University)

Abstract

The reduction of E_c—0.23 eV DLTS signal n platinum doped silicon by electron irradiation has been observed. The platinum-related level $E_v+0.32$ eV is not susceptible to electron radiation. This experiment leads us to suggest that the two levels in platinum doped silicon are not related to the same center.