



多晶硅片材料性质及热过程影响的 深能级瞬态谱 (DLTS) 研究

姜美芳 周浪

南昌大学 太阳能光伏学院

lzhou@ncu.edu.cn





报告提纲

- 1 DLTS基本原理
- 2 DLTS的发展及其在晶体硅材料性能研究中的应用
- 3 本课题组初步工作介绍





DLTS基本原理

DLTS测试的基本思想:

- ◆ Pn结或肖特基结上，先施加一个反向偏压 V_R ，再外加正向脉冲电压 V_P ($|V_R| > |V_P|$)，则在脉冲期间耗尽层变窄，有一段变为中性区
 - ◆ 如果存在深能级陷阱，那么它将被电子（空穴）填充，脉冲过后，耗尽层逐渐变宽，陷阱中心上被束缚的载流子发生热发射过程
- 通过测试电容的瞬态变化，确定深能级中心的能级、俘获截面和浓度



DLTS测试的基本原理:

被电子填充的陷阱中心的体密度 N_t 的变化

$$\frac{dN_t}{dt} = -(e_n + c_p p)N_t + (c_n n + e_p)(N_T - N_t) \quad \textcircled{1}$$

对于n型半导体中的多数载流子陷阱, $c_n \gg c_p$,
 $e_n \gg e_p$, 则

$$\frac{dN_t}{dt} = -e_n N_t + c_n n (N_T - N_t) \quad \textcircled{2}$$

在热力学平衡条件下, 有

$$e_n N_t(t) = c_n n [N_T - N_t(t)] \quad \textcircled{3}$$

电子发射速率与温度的关系(Arrhenius公式)

$$e_n(T) = AT^2 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

$$A = \frac{4\sqrt{6}\sigma_n k^2 \pi^{3/2} m_n^*}{h^3} = \gamma\sigma_n$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{e_{n;p}}{T^2}\right) = \ln(\gamma\sigma_{n;p}) - \frac{E}{kT} \quad (4)$$

测量一系列的 (T^2, e) 值，
做 $\ln(e/T^2) \sim 1/KT$ 曲线，斜率 E
为能级位置，截距 $\ln(\gamma \sigma_{n;p})$

E -陷阱中心上电子/空穴的激活能 ($E=E_C-E_T$)

σ_n 是陷阱对电子的俘获截面

$$\gamma = \frac{4\sqrt{6}k^2 \pi^{3/2} m_n^*}{h^3}, \text{ 常数}$$

$$C(t) = C_0 \left(1 - \frac{N_T}{2N_D} \exp(-e_n t) \right)$$

$$C_0 = A \sqrt{\frac{\epsilon_s q N_D}{2(V_R + V_d)}}$$

⑤

$$\Delta C = C(t_1) - C(t_2) = \frac{N_T C_0}{2N_D} [\exp(-e_n t_2) - \exp(-e_n t_1)]$$

⑥

对 e_n 进行微分，则可以得到 e_n^{\max} 的值为

$$e_n^{\max} = \frac{\ln(t_2 / t_1)}{t_2 - t_1}$$

改变 t_1 和 t_2 ，得到不同的率窗值。进行DLTS测量，首先选定率窗值，改变样品的温度使深中心的载流子发射几率发生变化，当输出信号在某个温度下达到极大值时，表明此温度下的发射几率与率窗值相等。



DLTS的发展及其在晶体硅材料性能研究中的应用

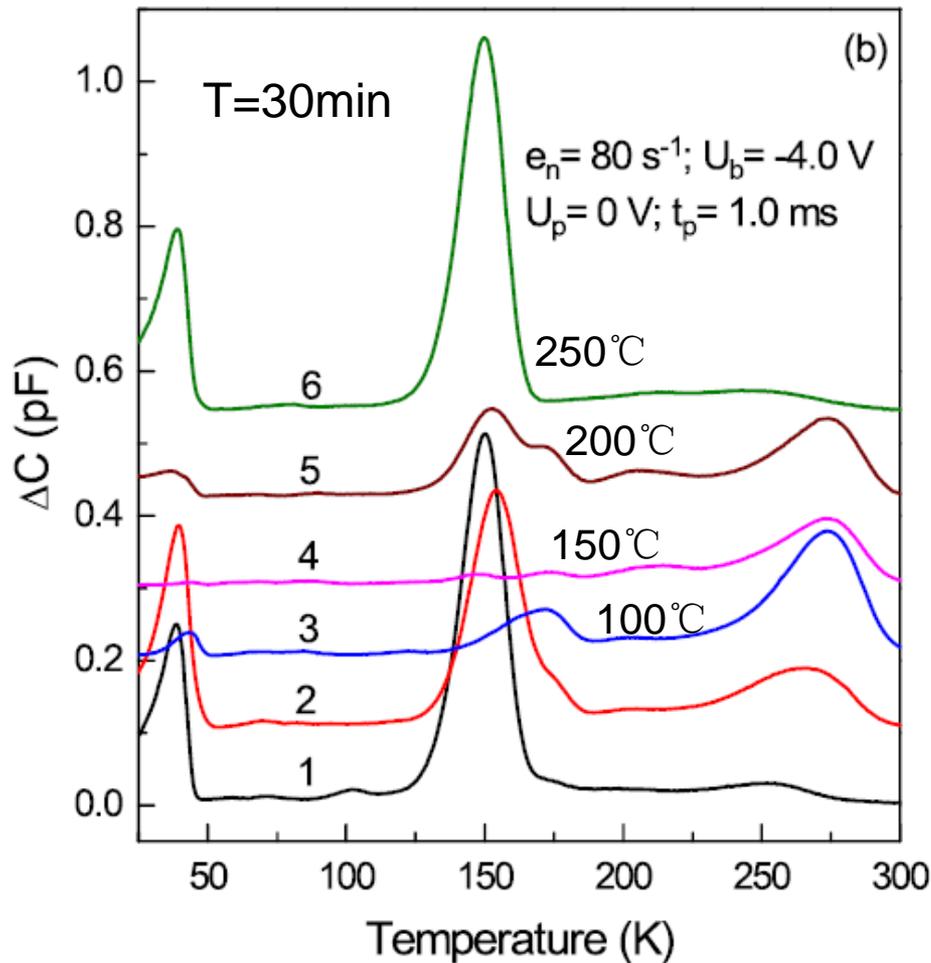
- 1974年，美国贝尔实验室D. V. Lang研究结电容技术基础上，提出深能级瞬态谱技术
- 德国Max-Planck固体问题研究所 硅中氢-过渡金属复合物电子特性的研究、用氢激发硅中铁相关复合物的分离、氢对硅中Ti的钝化





- 俄罗斯微电子技术研究所 硅片中铁浓度的分布对少数载流子寿命的影响
- 美国国家可再生能源实验室 区熔硅生长中杂质和缺陷的研究、低能氦离子束对a-Si:H/Si结构处理
- 瑞典Chalmers University of Technology 太阳能电池用单晶硅中铁缺陷的DLTS研究
- 浙江大学半导体材料研究所 GaAs薄膜缺陷、硅中CO复合体、Fe-B





S. Leonard et al, Applied Physics Letters 103, 132103 (2013)

40K、150K处分别是 $\text{Ti}_s\text{-H}_{2,3}$ 复合陷阱。
 100°C–150°C 热处理，浓度降低， $\text{Ti-H}_{2,3}$ 逐渐转变为 Ti-H 复合物（浅能级），升高热处理温度，250°C 时，恢复 $\text{Ti-H}_{2,3}$ 复合物陷阱。

掺Ti的N型直拉单晶硅氢钝化后经不同热处理过程后的DLTS谱图



本课题组初步工作介绍

样品制备研究:

① 抛光

② 肖特基结制备

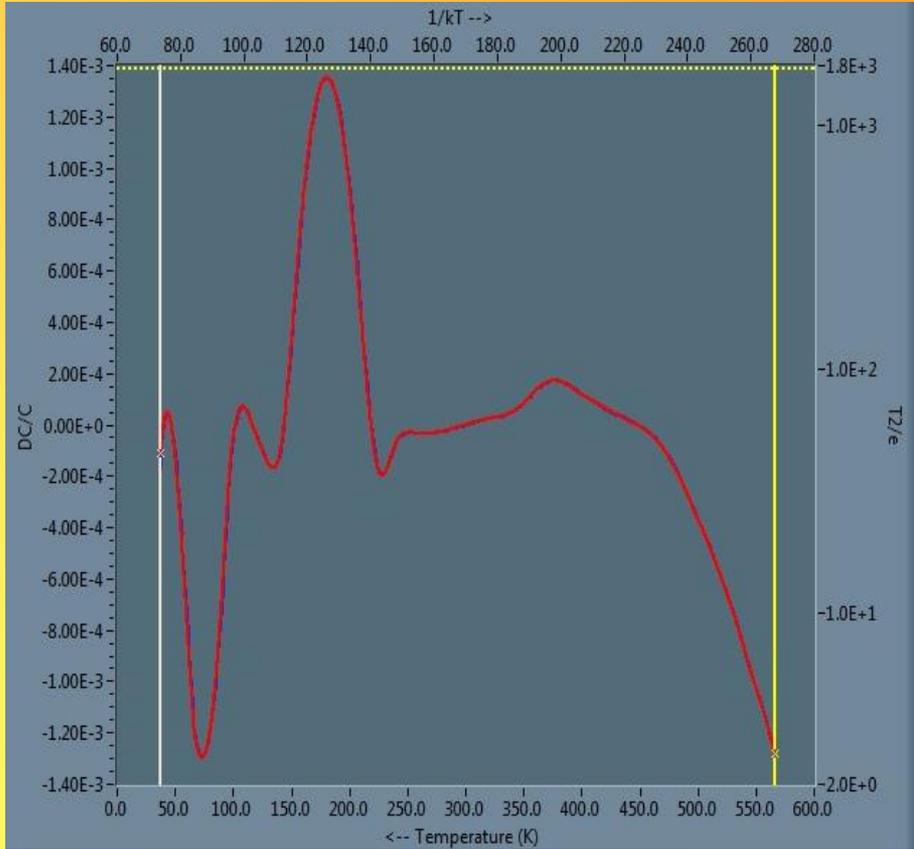
P型多晶硅片

背AL欧姆接触 (160°C 、 $590^{\circ}\text{C}+10\text{s}$)

肖特基接触 (AL 1mm)

③ 退火 (250°C , 1h、缓升降)



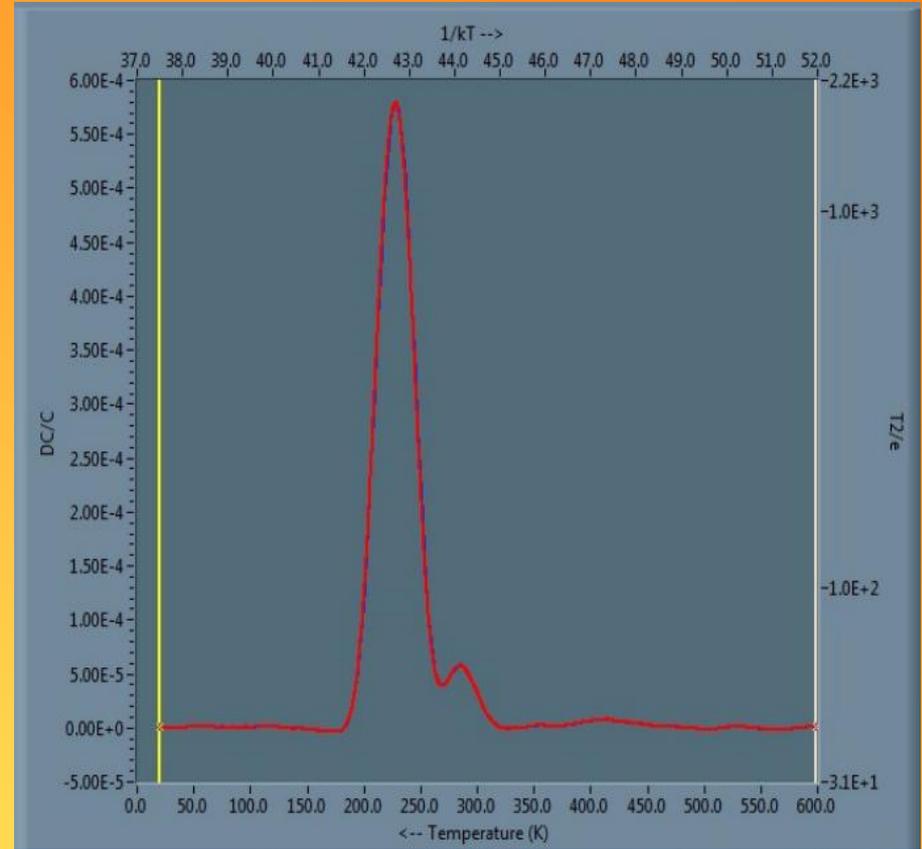


P型硅退火前的DLTS谱



75K空穴陷阱

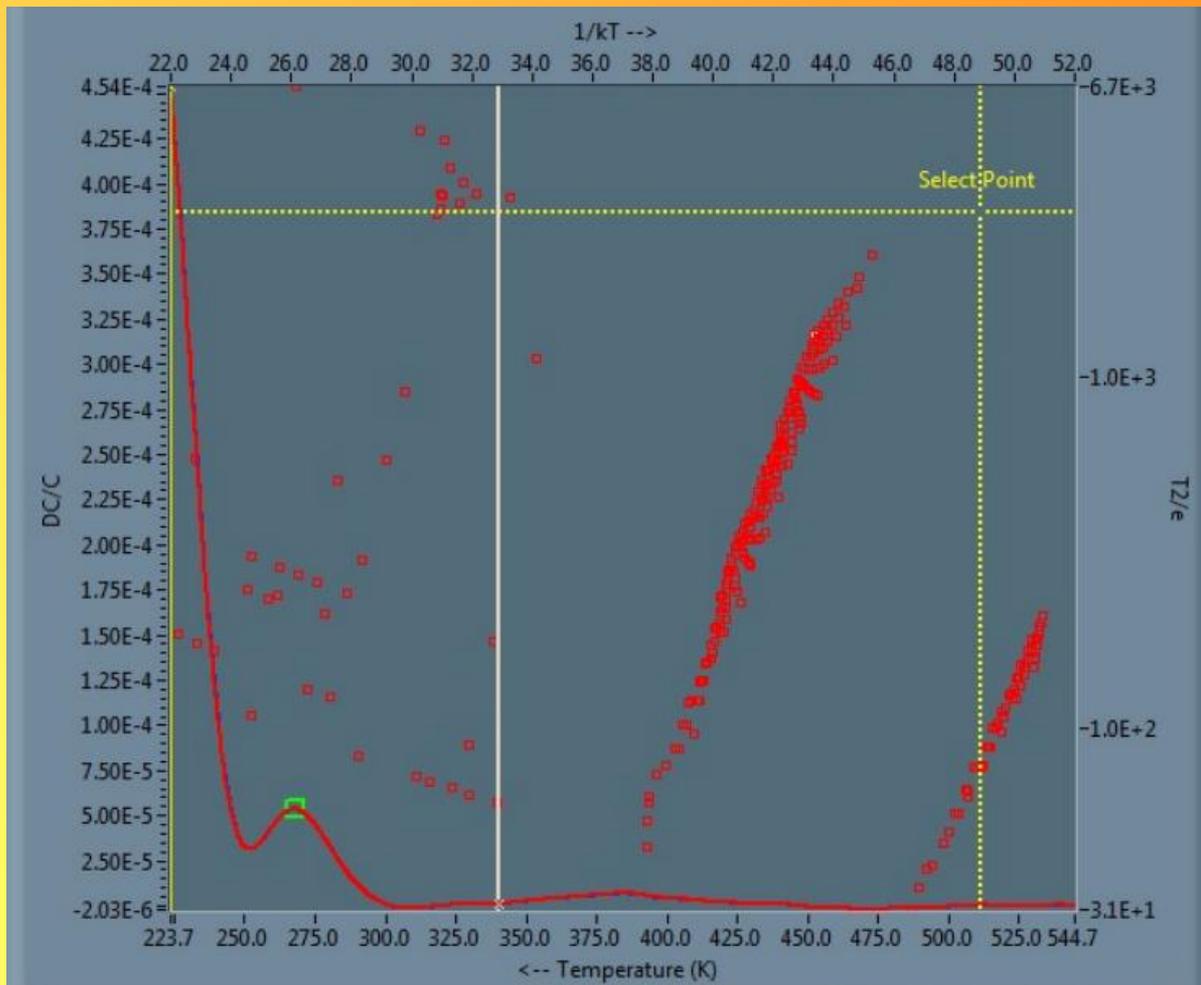
180K、370K电子陷阱



P型硅在250°C/1h退火后的DLTS谱



230K、280K两个电子陷阱



E (230K)
 $E_T = 0.534\text{eV}$ (Mn
 施主/Co受主 ?)
 $\sigma = 3.0\text{E-}15\text{cm}^2$

E (280K)
 $E_T = 0.412\text{eV}$ (Fe
 受主)
 $\sigma = 3.3\text{E-}15\text{cm}^2$

P型硅在250°C/1h退火后的Arrhenus曲线



结语

DLTS从原理上来看是一项功能强大的、十分理想的半导体材料检测技术。在国外已有许多成功应用，值得我国光伏界大力关注。





谢谢关注!