

用低频 C-V 法测量 a-Si:H 的隙态密度

杜永昌 李高斌 黎宏志 张玉峰

(北京大学物理系)

非晶态半导体一个重要参数是它的迁移率禁带中的局域态密度。已经发展了多种隙态密度的测量方法，如场效应方法 (FE)^[1]、低频 C-V 法^[2,3]、MOS 隧道测量^[4,5] 以及深能级瞬态谱法 (DLTS) 等。

C-V 法本是测量单晶半导体材料的有力工具。在非晶态半导体的肖特基势垒二极管的空间电荷区中，电势分布、空间电荷分布等要比单晶半导体复杂得多。已有一些文章作了研究并推导了由 C-V 曲线求态密度的公式^[2]：

$$g(E_{Fns}) = \frac{1}{\epsilon q^2} \left(C_s^2 - Q \frac{dC_s}{dV_s} \right) \quad (1)$$

$$Q = - \int_0^{V_s} C_s(U) dU, \quad (2)$$

式中肖特基势垒的微分电容 $C_s = - \frac{dQ}{dV_s}$ ， g 为隙态密度， E_{Fns} 为表面处的费米能级， ϵ 为介电常数， q 为电子电荷， V_s 为表面势。

为了测量禁带中相应某一能量 $E_c - E$ 处的态密度 $g(E)$ ，要求此局域态上载流子热发射能跟得上测试信号的变化。其响应时间为

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_c - E}{kT}\right), \quad (3)$$

其中 k 为玻耳兹曼常数， T 为开氏温度。距离导带迁移率边愈深的局域态，响应时间 τ 愈长。为了能测量到深的局域态密度，测试频率必须尽可能低。

测量非晶半导体的隙态密度所用的低频 C-V 测试系统目前最低为 0.2Hz，要求灵敏度高，能从噪声干扰中检测信号。被测样品的电容 (C) 和电导 (G) 两部分要分别测出。

图 1 为低频 C-V 测试仪原理图，它包括信号源、电流放大、电压放大、相敏检波等部分。

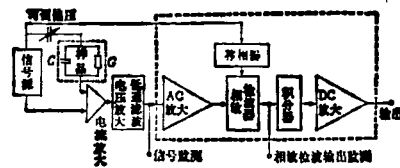


图 1 低频电容测试仪原理图

XFD-8 型超低频讯号发生器供给 0.2—300Hz 的低频正弦信号。一路有效值为 60mV，加到被测样品上；另一路输出大于 500mV (有效值) 的信号加到移相器的输入端。流过被测样品的电流与样品的导纳成正比，经电流放大，电压放大后作为相敏检波器的输入信号。调节移相器使相敏检波器的输出为电容分量。直流电压输出可由 PZ8 型直流数字电压表读出，或用 X-Y 记录仪记录。直流偏置电源提供样品的可调偏压。在电压放大器上加了一个上限频率为 3Hz 的低通滤波器，大大衰减了 50Hz 的市电干扰。

非晶硅样品是本校无线电系提供的辉光放电非晶态硅氢合金。在低阻单晶衬底上用辉光放电淀积 1 μ m 厚的非晶态硅氢合金，淀积时的衬底温度为 290 $^{\circ}$ C，真空压强为 1torr，硅烷流量为 10ml/min，得到了不掺杂的 n 型非晶硅。用暗电导法测得 $E_c - E_F = 0.6eV$ 。通过真空镀膜作 Au-Si 肖特基势垒二极管，管心直径为 1mm。在二极管的伏安特性曲线上外推出零偏压下的电流 I_0 值，由 I_0 的温度变化对温度的倒数的曲线的斜率求得肖特基势垒二极管的势垒高度 $\phi_b = 0.95eV$ 。

图 2 为蒸金非晶硅氢合金肖特基二极管在不同频率下的 C-V 特性曲线。可以看出在同一测试频率下，反向偏置电容变化很小，随着正

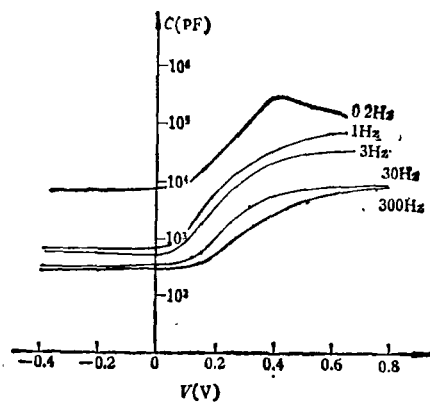


图2 蒸金的非晶硅肖特基二极管不同频率下的 $C-V$ 曲线

向偏压的增大,从某一电压开始,电容很快增大.随着频率的升高,电容值变小,这说明有更多的局域态跟不上测试信号的变化.一般情况下,势垒电容 C_s 是直流偏置电压 V 、测试频率 f 和样品温度 T 的复杂函数,它们的变化关系已在文献 [6] 中作了讨论.

用 0.2Hz 的 $C-V$ 曲线算得的禁带中局域态密度分布如图 3 所示.从局域态上电子的发射率估计,在 $E_c - 1.0\text{eV}$ 处的局域态电子响应时间约为 10^{-8}s .能跟上频率为 0.2Hz 信号的局域态相应于 $E_c - 0.8\text{eV}$.从图 2 可以看到,0.2Hz 的 $C-V$ 曲线,在正向偏压为 0.1V 以下时,电容值基本不变.所以比 $E_c - 0.8\text{eV}$ 更深的局域态需要更低的测试频率才能测出.在正向电压加到 0.4V 以上时(已近于平带电压),因而电导急剧增大,结电阻 R_s 大大下降,体电阻 R_B 的作用不能忽略,而且电导 G_s 已比容纳 ωC 大许多,导致大的测量误差.我们的测量是在 $E_c - 0.8\text{eV}$ 到 $E_c - 0.6\text{eV}$ 这一段,测量结果可靠,相应的态密度在 $(2 \times 10^{17} - 10^{19})/\text{cm}^3$.

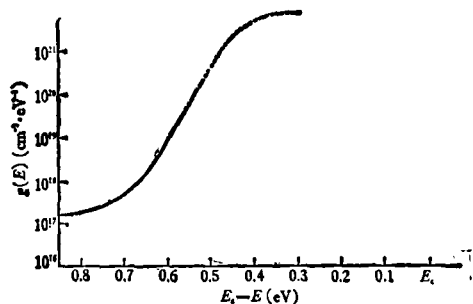


图3 态密度分布曲线

eV 之间.

最近文献 [7] 提到,势能 $V(x)$ 的边界条件对不同单晶是不同的,而且处于非平衡条件下费米能级的计算问题,需要作进一步的分析.而深能级瞬态谱的测量结果 [8] 认为,低频 $C-V$ 法和场效应的方法的共同弱点在于假设了局域态密度在空间上的均匀分布.深能级瞬态谱法则可以分别测出体内的和表面的局域态密度分布.

北京大学无线电系杨大同、奚中和等同志为我们提供了非晶硅材料,并和我们作了十分有益的讨论.程秋丽同志协助我们制作样管,在此谨致谢意.

参 考 文 献

- [1] W. E. Spear et al., *Philos. Mag.*, **33**(1976), 935.
- [2] P. Viktorovitch et al., *J. Non-crystal. Sol.*, **35 & 36** (1980), 569.
- [3] W. E. Spear et al., *Philos. Mag.*, **B38** (1978), 303.
- [4] I. Balbery et al., *Phys. Rev. Lett.*, **43**(1979), 58.
- [5] P. Viktorovitch, *J. Appl. Phys.*, **52**(1981), 1392.
- [6] J. Beichler et al., See ref. [2], 587.
- [7] I. Chen and S. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **40**(1982), 487.
- [8] J. D. Cohen et al., *Phys. Rev. Lett.*, **45**(1980), 197.