

用场效应方法研究 a-Si 中定域态密度*

杨喜荣 廖显伯 孔光临 刘昌灵
(中国科学院半导体研究所)

提 要

用场效应方法研究了未掺杂 GD-a-Si 薄膜中的定域态密度分布 $N_{(E)}$, 比较了不同淀积条件和退火温度对 $N_{(E)}$ 的影响。

无定形硅(a-Si)能带中隙态密度的分布 $N_{(E)}$, 是决定 a-Si 输运性质的一项重要参数。它的测量不仅为比较和检验制备 a-Si 的工艺条件, 而且也为了解材料的光学性质和电学性质提供了重要依据。

我们采用场效应方法^[1,2], 测量了辉光放电生长的无定形硅(GD-a-Si)薄膜的隙态密度; 比较了不同制备条件和退火温度对隙态密度分布的影响。

一、测 量 原 理

场效应测量样品的形状和能带结构如图 1 所示。在栅极上施加电压 ΔV 时, 在以 SiO_2 为介电层的平行板电容器的另一极板上, 将感应出电荷 $c \cdot \Delta N_s = c \cdot \Delta V$, 并使费米能级在表面上扫过 ΔE 的距离。假设这些电荷全部用来填充 GD-a-Si 界面空间电荷区内 ΔE 范围中的定域态, 而表面态和自由载流子的影响可以忽略。当栅压以步长 ΔV 按步增加到第 v 步时, 相应的空间电荷密度将为 $c v \Delta N_s / \lambda_s$, 其中 λ_s 为空间电荷区的宽度。此时, 隙态能级 E_v (密度 N_v) 在界面上刚好降到费米能级 E_F 处, 所以由于外加栅压而被电子填充的隙态总数(单位体积)为:

$$N_v \Delta E_s + \sum_{i=0}^{v-1} N_i \Delta E_i \quad (1)$$

显然

$$v \Delta N_s / \lambda_s = N_v \Delta E_s + \sum_{i=0}^{v-1} N_i \Delta E_i \quad (2)$$

由此可得

$$N_v(E) = \frac{1}{\Delta E_v} \left[v \Delta N_s / \lambda_s - \sum_{i=0}^{v-1} N_i \Delta E_i \right] \quad (3)$$

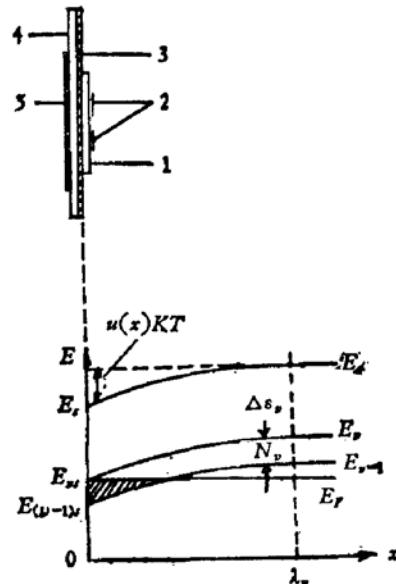


图 1 场效应样品的实验结构和能带图
1. a-Si 薄膜 2. Al-Si 电极 3. SiO_2 绝缘层 4. 低阻单晶硅衬底
5. 栅电极

* 1980 年 12 月 3 日收到。

式中未知量 λ_s 可由解 Poisson 方程求出, $\lambda_s = u_s KT / A_s$. 这里 u_s 为简约表面势, $u_s = (E_c - E_s)/KT$; A_s 是一个依赖于材料介电常数 ϵ 的参数, $A_s = (\epsilon^2/\epsilon\epsilon_0)\Delta N_s \cdot v$. 最后可把 λ_s 和测得的源漏电流 I_s 联系起来:

$$I_s/I_0 = 1 - \frac{\lambda_s}{d} + \frac{1}{d} \int_0^{\lambda_s} \exp u(x) dx \quad (4)$$

式中 I_0 为平带电流, d 为 GD-a-Si 薄膜厚度. 此积分可化为 Dawson 积分, 可通过查表或用计算机进行近似计算. 态密度 $N_s(E)$ 的能量从迁移率边 E_c 算起, $E = E_c - E_s = (E_c - E_F) - u_s k_T$, 这里 $(E_c - E_F)$ 为扩展态电导激活能, 可从较高温度下的 $\ln \sigma \sim 1/T$ 曲线的斜率求得.

二、样品制备

GD-a-Si 薄膜,是在一台立式 RF($\sim 2\text{MHz}$) 反应炉中制备的, 系统采用外电容式耦合, 功耗约 30—40 瓦(图 2). 衬底用溴钨灯加热. 我们发现这样的系统比电感式耦合均匀性好, 功耗小; 同时, 也比内平板电容式耦合结构简单, 沾污少. 反应气体为 2.5% $\text{SiH}_4 + 97.5\%$ H_2 .

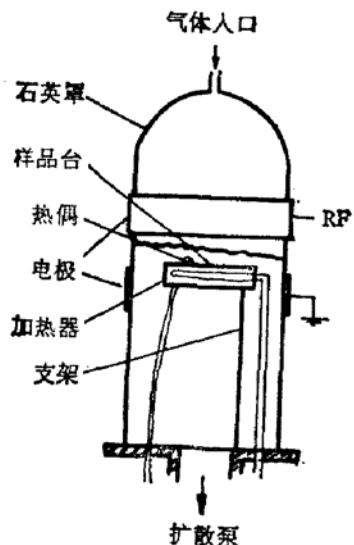


图 2 GD 外电容式辉光放电装置示意图

反应条件的控制主要是调节 RF 电压和反应气体的流量, 以达到均匀而缓慢生长的目的, 并避免在反应器壁上生长黄色的聚合物粉末. 在这样的外电容式耦合系统中, 我们所加的 RF 电压约 1000 伏, 反应气体流量约 1.5 升/分, 生长速率约 1—2 埃/秒. 另外在淀积薄膜之前, 系统用扩散泵预抽到 4×10^{-4} 托; 或用高纯氩清洗后预抽到 2×10^{-2} 托.

样品用 n 型低阻硅 ($\rho \sim 10^{-3}$ 欧姆厘米) 做衬底, 生长 1 微米以上的厚 SiO_2 层作绝缘介质, 约 7000 埃厚的 GD-a-Si 薄膜就淀积在这绝缘层上. 最后, 用掩蔽蒸发一对 Al-Si 合金电极, 其间距约 0.1 毫米; 衬底背面, 用 HF 酸腐蚀去掉氧化层, 涂上 InGa 合金做栅电极接触.

三、测量结果和讨论

测量是在真空暗室中进行的, 源漏电压 100 伏; 测量温度 50°C 左右(此时为扩展态电导). 典型的样品源漏电流和栅压 V_g 曲线见图 3. 我们用计算机算出隙态密度的能量分布. 图 4 显示生长时不同衬底温度对 $N_{(E)}$ 的影响. 图 5 和图 6 为退火对 $N_{(E)}$ 的影响. 我们的结果大体上与 Spear 等人的一致, 可以看出:

1. GD-a-Si 样品(衬底温度 150°C 以上)的源漏电流随正栅压一直是增大的, 它以电子导电为主.
2. 从 $N_{(E)}$ 的变化趋势看出, $N_{(E)}$ 在带隙中距离 E_c 为 0.5—0.7 电子伏处最低, 约为

10^{17} 厘米 $^{-3} \cdot$ 电子伏 $^{-1}$ 数量级; 以后 $N_{(E)}$ 逐渐上升, 到距 E_c 约 0.2—0.3 电子伏附近达到 10^{19} — 10^{20} 厘米 $^{-3} \cdot$ 电子伏 $^{-1}$ 量级。

3. $N_{(E)}$ 与工艺条件有密切关系, 特别是衬底温度对 $N_{(E)}$ 的影响很大。室温下生长的薄膜 $N_{(E)}$ 很高, 费米能级 E_F 被钉扎, 几乎观察不到场效应现象。150°C 生长的薄膜 $N_{(E)}$ 高于 350°C 生长的薄膜(见图 4)。生长后退火也可以改变 $N_{(E)}$ 。在 150°C 生长的 GD-a-Si 薄膜在 350°C 真空退火 2 小时后 $N_{(E)}$ 明显降低(见图 5), 说明在适当温度下生长或退火可减少 GD-a-Si 中无规网络的结构缺陷。相反, 在 350°C 生长 GD-a-Si 薄膜在 550°C 的 Ar 气氛中退火 2 小时, $N_{(E)}$ 升高(见图 6), 估计是由放出了氢, 结构中产生了更多的悬键造成的。

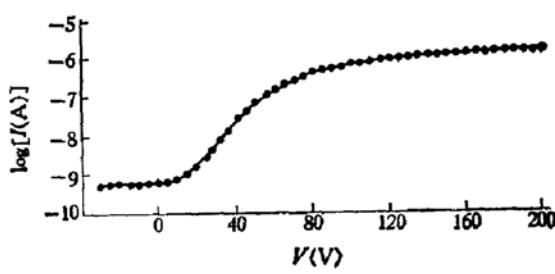


图 3 样品电流和栅压特性

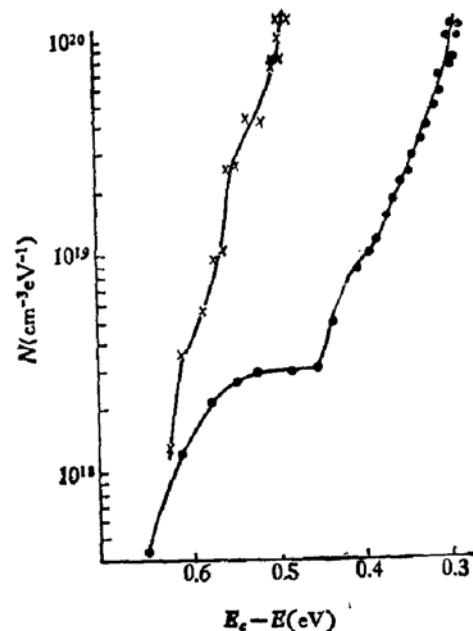


图 4 衬底温度对 $N(E)$ 的影响

● 809# $T_d = 350^\circ\text{C}$ × 1108-3 $T_d = 150^\circ\text{C}$

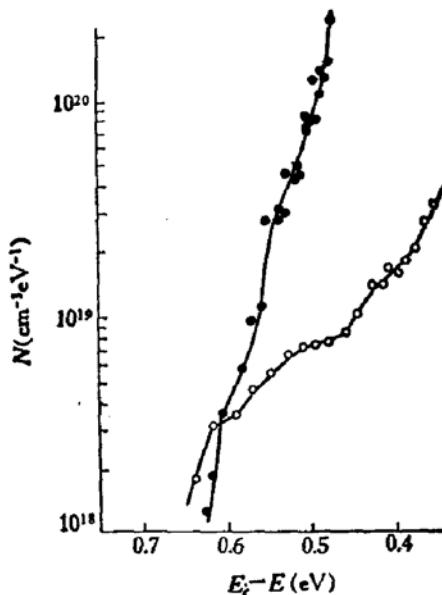


图 5 真空退火对 $N_{(E)}$ 影响

● 1108-3 GD 150°C ○ 1108-5 GD 150°C 又在 350°C 真空退火 2 小时

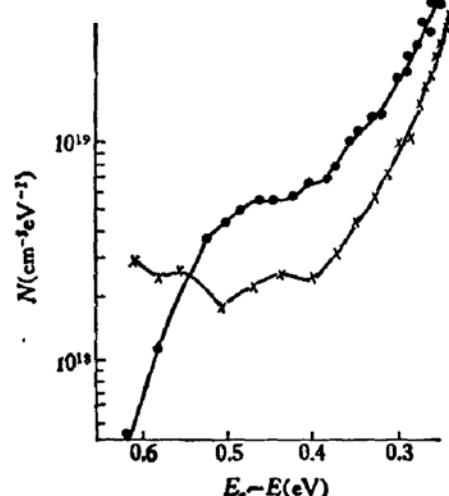


图 6 Ar 气氛下退火对 $N_{(E)}$ 的影响

× 1120# GD 350°C ● 116# GD 350°C 又在 Ar 气中退火, 580°C, 2 小时

4. 关于 Spear 等人报道 GD-a-Si 的 $N(E)$ 在 0.4 电子伏处有峰值的问题, Fritzsche 认为, 场效应分析方法本身放大了实测数据的误差, 可能会误产生峰值, 所以这种方法不能辨别 $N(E)$ 的详细结构^[3]. 我们在计算中也发现峰值产生与否, 跟计算处理的情况密切相关, 故我们没有力图去确定和分析峰值.

在使用计算机处理数据中, 得到王万年、张明等同志的帮助, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] W. E. Spear and P. G. Le Comber, *J. Non-Crystalline Solids*, **8—10**, 727(1972).
- [2] A. Madan, P. G. Le Comber and W. E. Spear, *J. Non-Crystalline Solids*, **20**, 239(1976).
- [3] N. B. Goodman, H. Fritzsche and H. Oyaki, *J. Non-Crystalline Solids*, **35—36**, 599(1980).

Investigation of the Localized States in Amorphous Silicon Films Using the Field Effect

Yang Xirong, Liao Xianbo, Kong Guanglin and Liu Changling
(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The energy distribution of the gap state density $N(E)$ in undoped GD a-Si films has been measured by the field effect technique. The effects of different deposition conditions and annealing temperatures on $N(E)$ are compared.