

# 用电容瞬态技术测量界面态密度

北京大学物理系

晏懋洵 毛晋昌 陈开茅

**摘要:** 本文叙述了一种简单方便的用于测量MOS界面态密度的电容瞬态技术。给出了利用该技术对N型硅-二氧化硅界面态总密度和界面态分布的测量结果。该技术适用于工厂中作一般工艺监测。

目前,研究界面态的方法很多,传统的方法有准静态C-V[1]、高频C-V[2]、电导法[3]以及温度法等,光发射技术也是研究界面态的有力手段,近年来DLTS技术[4][5]也广泛用于界面态的研究。但是,在一般工艺监测中作界面态密度测量时,上述方法或计算复杂,或精度不高,或设备昂贵不易推广作一般工艺监测用。我们采用的电容瞬态技术,是将样品置于液氮温度,利用界面态瞬时填充后引起的MOS电容的瞬时变化来测量界面态密度,所需设备简单,操作方便,精度较高,可适用于一般工艺的监测。

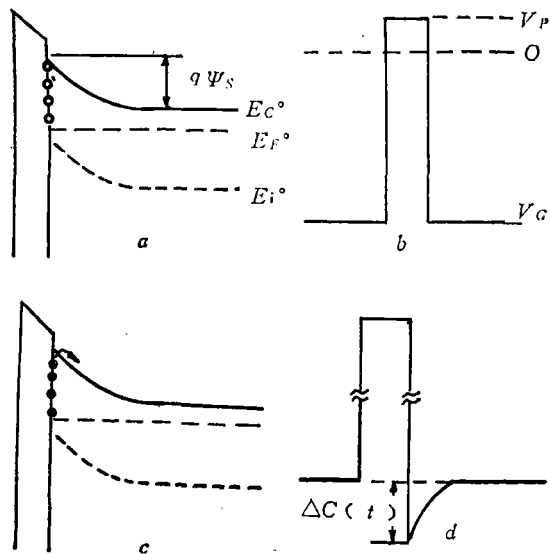


图 1

## 1. 基本原理

N型MOS在反型前的某一栅压 $V_G$ 下的能带如图1.a所示。费米能级 $E_F$ 以上的界面态是空的。栅压 $V_G$ 的脉冲变化,主要引起界面态电荷和半导体空间电荷的变化,在均匀掺杂和耗尽区假设的条件下,栅压与这两者之间的关系表现为

$$V_G = -\frac{Q_{it}}{C_i} - \frac{qN_D\epsilon_s}{2} \left( \frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_i^2} \right) + V_0 \quad (1)$$

其中 $C_i$ 、 $C$ 分别是MOS的单位面积氧化层电容和单位面积总电容, $Q_{it}$ 为界面态电荷密度, $N_D$ 是浅杂质浓度, $\epsilon_s$ 是半导体的介电常数, $V_0$ 是与MOS材料参数有关的常量。

在 $V_G$ 上叠加饱和注入脉冲时(参见图1.b),半导体表面由耗尽变为积累,原来空着的界面态将被饱和填充,界面态电荷密度相应地改变 $\Delta Q_{it}$ 。脉冲过后,MOS电容马上恢复到原来的偏置 $V_G$ ,脉冲期间填充于界面态的电子会逐渐发射出来(图1.c),从而引起如图1.d所示的电容瞬态 $\Delta C(t)$ 。由脉冲前后栅压不变,根据(1)可得

$$\Delta Q_{it} = -\frac{qN_D\epsilon_s C_i}{2} \left[ \frac{1}{(C + \Delta C_0)^2} - \frac{1}{C^2} \right] \quad (2)$$

所填充的界面态密度则为

$$\begin{aligned} N_{it} &= \int_{E_F}^{E_C - q\psi_s} n_{it}(E) dE = \frac{\Delta Q_{it}}{-q} \\ &= -\frac{N_D\epsilon_s C_i}{2} \left[ \frac{1}{(C + \Delta C_0)^2} - \frac{1}{C^2} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

式中 $\psi_s$ 为半导体的表面势,  $n_{is}$ 为单位能量间隔的界面态密度,  $E_F^\circ$ 和 $E_C^\circ$ 分别是半导体体内的费米能级和导带底,  $\Delta C_0$ 是电容瞬态之初始值。

相应于一系列不同的栅偏压 $V_{G1}$ 、 $V_{G2}$ ……, 有一系列不同的表面势 $(\psi_s)_1$ 、 $(\psi_s)_2$ ……, 也就有一系列不同的电容瞬态初始值, 从而由(3)式可得到一系列不同能量范围的界面态密度 $N_{is}$ 。如果所选择的栅偏压间隔足够小, 就可用差分的办法近似求得界面态密度随能量的分布。

$$n_{is}(E) = n_{is}(\psi_s)_i = \frac{(N_{is})_{i+1} - (N_{is})_i}{q[(\psi_s)_{i+1} - (\psi_s)_i]} \quad (4)$$

式中,  $\psi_{si}$ 是栅差压 $V_{Gi}$ 所对应的表面势, 它可由下式

$$C_D = \frac{\epsilon_s}{L_D} \left[ \frac{e^{\beta\psi_s} - \frac{1+\alpha}{1+\alpha e^{\beta\psi_s}}}{(1+\alpha) \left( \ln \frac{1+\alpha e^{\beta\psi_s}}{1+\alpha} - \beta\psi_s \right) + e^{\beta\psi_s} - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

及高频 $C-V$ 曲线来确定。(5)式中,  $L_D$ 为德拜长

$$度, L_D = \left[ \frac{2\epsilon_s kT}{N_D q^2} \right]^{\frac{1}{2}}, \beta = \frac{q}{kT}, \alpha = e^{-\frac{(E_D - E_F)}{kT}}.$$

(5)式考虑了在低温下浅杂质不完全电离, 费米能级的位置也应修正[8]。

对于P型MOS可以有完全类似的结果。

## 2. 测量装置

瞬态电容仪[7]的核心部分是自制的高频电容电桥, 桥路的输出与MOS电容的瞬时变化成正比。放大器是自装的1MC交流放大器, 带宽约50KHz。放大器与桥路的连接应考虑相互的匹配。另外还应注意解决在脉冲注入期间, 注入脉冲使放大器过载的问题。相敏检波器是美国EV公司的相检单元EA4110。测量方框图见图2。

## 3. 测量步骤及结果分析

在我们的测量中, 脉冲后的电容瞬态曲线, 是事先把样品置于液氮温度下, 用X-Y记录仪记录的。由于在液氮温度下, 填充于界面态(除离导带底较近的外)的载流子发射得很慢, 电容瞬态有较长的时间常数, X-Y记

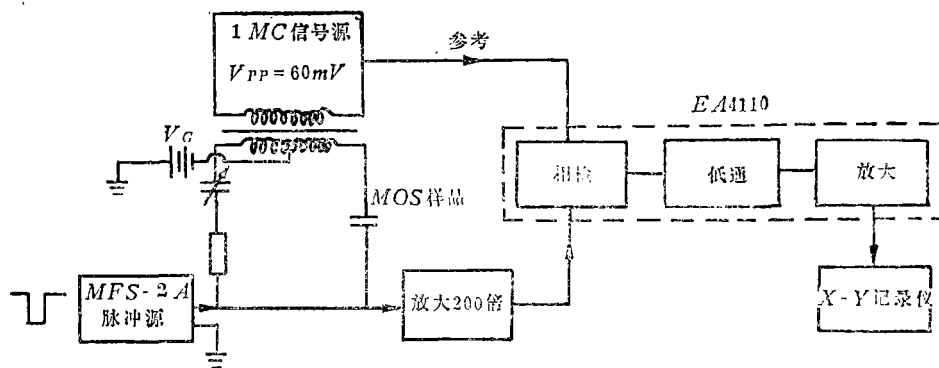


图2 瞬态电容仪方框图

录仪就可能较真实地记录下 $\Delta C(t)$ 的初始值 $\Delta C_0$ 。大概的测量步骤是, 首先, 在室温下使样品处于一定的反偏置 $V_G$ , 以使束缚于费米能级 $E_F^\circ$ 以上界面态的载流子发射光。然后, 在保持 $V_G$ 不变的情况下, 将样品置于液氮温度, 待稳定后, 再加以有足够幅度和宽度的脉冲, 使MOS电容达到强积累状态, 原来空着的界面

态被饱和和填充。等脉冲过后, 用X-Y记录仪记录下电容瞬态 $\Delta C(t)$ 。选取合适的 $V_G$ , 使MOS样品处于弱反型, 在室温下使上半带的界面态腾空, 按上述步骤就可测得总界面态密度。

在作界面态密度随能量分布的测量时, 栅偏压从平带电压开始选取, 每间隔0.1伏取一值, 直到弱反型为止。对于选定的每一栅偏

压, 都按前述步骤测量。

我们实测了铝栅-SiO<sub>2</sub>-N型Si结构的两组MOS样品。一组是用三氯乙烯氧化工艺做的两种不同晶面样品, 并经过氮氢退火。一组是用一般氧化工艺做的(111)晶面样品, 在这一组中, 一种是经过氮氢退火处理的, 一种则未作退火处理。测量结果列于表1。

表1 不同氧化工艺、不同晶面的总界面态密度

	三氯乙烯氧化工艺		一般氧化工艺	
	(111)	(100)	2号(未退火)	10号(退火)
总界面态密度( $\times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ )	4.7	1.7	46	27

对于10号样品, 我们用高频C-V法测得的总界面态密度是 $12 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ 。高频C-V曲线是用美国PAR公司的C-V PLOTTER测得的。可以看到用高频C-V法测得的结果比用瞬态法测得结果要小些。

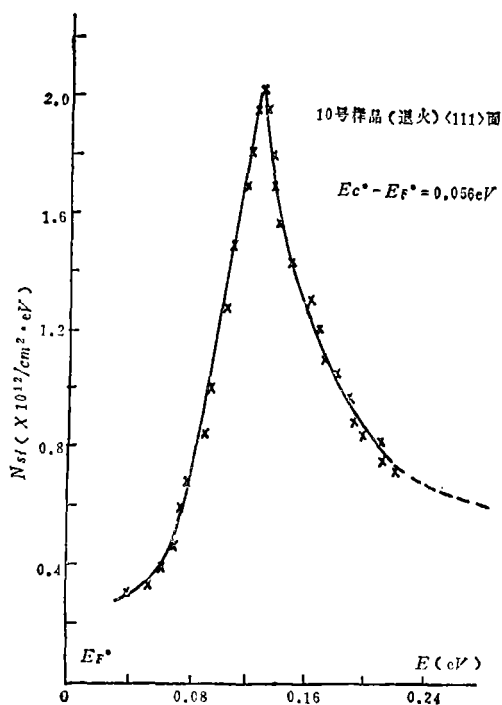


图3 界面态密度随能量的分布

我们还测量了10号样品的界面态密度分布结果如图3。从图3可以看到, 靠近带边的界面态密度偏低比较多。这是由于靠近导带底的界面态发射时间常数很小, 即使在液氮温度下, 其发射时间常数也还是不大, 使一般的X-Y记录仪响应不了。为了说明这一点, 我们用X-Y记录仪和BOXCAR作了对比测试。在相敏检波之后同时接X-Y记录仪和BOXCAR(美国PAR公司生产的M164、M162), BOXCAR用来对瞬态电容进行单点取样, 如图4所示。之所以在脉冲过后约100μs取样, 主要是为了避开电路中分布参数产生的假瞬态的影响。

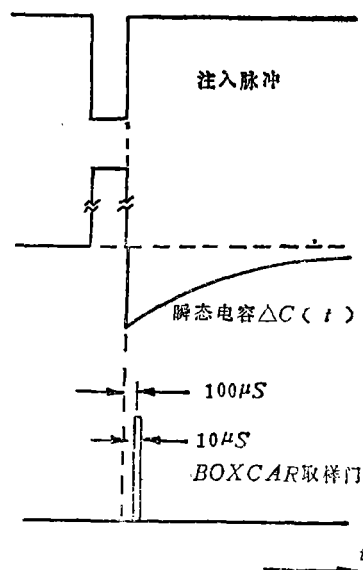


图4 取样门位置选择

表2列出了X-Y记录仪和BOXCAR同时进行测量时所得到的结果。从表中可以看到, 在栅压较低时, 两种仪器测量的数值相差较多,

表2 不同偏压下BOXCAR和X-Y记录仪测得的瞬态电容值之比较

栅 偏 压 (伏)	-2.8	-2.9	-3.0	-3.1	-3.5	-3.7	
势 垒 高 度 (eV)	0.013	0.023	0.036	0.053	0.103	0.119	
瞬态电容初始值 $\Delta C_0$ (pf)	BOXCAR	5.78	7.82	8.50	8.91	10.30	11.56
	X-Y	4.10	5.72	7.10	7.82	9.50	10.88
两种仪器测量值之比	0.70	0.73	0.84	0.88	0.92	0.94	

栅压较高时,就很接近了。尽管BOXCAR可以更精确地测量电容瞬态值,但一般工厂不易具备这种条件,而用X-Y记录仪进行记录由于它响应较慢,会造成一些误差,但在作总界面态测量时,这个误差会很小。因此,在工厂中用X-Y记录仪记录电容瞬态是完全可行的。

综上所述,由于我们采用高频电容电桥来测量电容瞬态,因此灵敏度高,响应快。特别是采取了把样品置于液氮温度后再注入的办法,用X-Y记录仪就可记录到电容瞬态,从而使测量设备大为简化,操作也简便了。这就使我们的方法特别适合于一般工艺监测中作总界面态的测量。对于界面态密度随能量分布的测量,由于禁带中心附近的界面态密度的计算是取自两个大量之差,因而误差较大。

对于体内深中心含量较多的单晶片,必须采取其它方法,以扣除体内深中心对界面态测

量的影响。关于这个问题,本文不在此作进一步的讨论。

在我们的工作中,曾与秦国刚、杜永昌等同志进行过许多有益的讨论,在此仅致谢意。

### 参 考 资 料

- [1] C.N.Berglund, *IEEE Trans. on Electron Devices*, ED-13, P.701, 1966
- [2] L.M.Terman, *Solid State Electron*, Vol. 5, P. 285, 1962
- [3] E.H.Nicolliou and A. Goetzberger, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 46, P.1055, 1967
- [4] N. M. Johnson, *Proceedings of the International Topical Conference*, P. 421, 1978
- [5] K.L.Wang, *J. Appl. Phys.*, Vol.47, P. 4574, 1976
- [6] 黄昆、谢希德著, *半导体物理学*(1958), P. 46
- [7] 杜永昌, *物理*, 10-2, P. 109, 1981

## ⑥高反压大功率晶体管烧结工艺的改革

徐 如 然

本文在分析了3DA58型高反压大功率晶体管,因采用金-锑(Au:Sb=99%:1%)合金真空烧结而造成“微等离子体击穿”之后,提出了一种采用“化学镀镍法”,在管芯背面淀积镍磷合金,同时使用锡-铅-银软焊料,把管芯烧焊在刻有槽或凹坑的F-2管座上,使管芯和

管座之间形成低阻欧姆接触的方法。本方法简化了工艺、降低了成本,同时有效地克服了由于台面沾污造成的表面击穿,改善了器件电性能,提高了烧结成品率,同时节省了黄金。

(约3600字, 3图)