

用热激电流法测定硅-二氧化硅的界面态*

盛 篓
(复 旦 大 学)

提 要

用热激电流法测量了 MOS 及 MNOS 界面态。所测得的界面态密度分布与用准静态法测得的结果有不同之处在于：界面态密度在近带边时是减小的。这是由于界面态俘获截面在带边处急剧下降的关系，热激电流法测不到这部分界面态。在 p 型衬底 MOS 中在价带上 0.3 eV 处有一分立能级，禁带中央处密度很小。部分 n 型样品在多次测量后产生一个新的能级，位置在导带下 0.4 eV 处。有些 n 型样品在高反偏压下出现新的分立能级；有一批样品，其分立能级的激活能随偏压变化。这些能级可能与氧化层缺陷有关。

一、引言

硅-二氧化硅界面态的测试和研究现在还是一个重要课题。Simmons^[1] 用热激电流法测了 n 衬底 MOS 界面态，但发表的实验结果很少，本文报道了用此法测试 MOS 及 MNOS 的结果，并作了简单讨论。

二、原 理

界面态能级的电子填充情况取决于它与 E_F 的相对位置，低于 E_F 的界面态填满电子，在 E_F 之上则是空的。测试时先使 MOS 样品处于积累状态，以 n 型为例，界面态均填满电子；然而在低温下改变偏压使转变成深耗尽，大部分界面态能级高于 E_F ，由于低温下电子发射率很小，电子仍保持在界面态上。样品升温时，近导带的界面态的激活能低先释放电子，温度继续升高时界面态自上而下依次释放电子。由所测得的电流与温度的关系可以换算成界面态密度的能量分布^[1, 2]。

三、实验结果与讨论

1. n 型 MOS 的界面态

样品为 n-n⁺ 外延片在 900°C 下湿氧氧化，氧化层厚 2500 Å，未经合金退火处理。测得界面态分布如图 1。这与 Simmons 的结果相近。禁带中央处界面态密度最小，朝导带

* 1980 年 9 月 25 日收到。

方向密度增大, 在导带下 0.27 eV 处开始下降, 在 0.3—0.4 eV 处形成一平缓的峰。靠近导带处界面态下降可能由于: 1) 最低温度只用液氮温度, 在加反偏后有部分界面态已开始放电; 2) 靠近导带处俘获截面急剧下降^[3, 4], 因此导带附近界面态几乎不参与载流子俘获发射过程。而用固定的俘获截面计算界面态时就得出近导带处界面态的表观密度趋于零。在向价带方向界面态密度上升较快, 在 0.64 eV 处急剧下降, 这是由于 E_F 位置限制了界面态继续放电。能测到的能级位置最深的界面态由样品反型时的 E_F 位置所限制。部分 n 型样品在高温 (100°C) 及高反偏压 (30—45 V) 下多次测试后, 产生新的能级,

其位置在导带下 0.4 eV 左右, 最大密度达 $10^{12}/\text{cm}^2$.

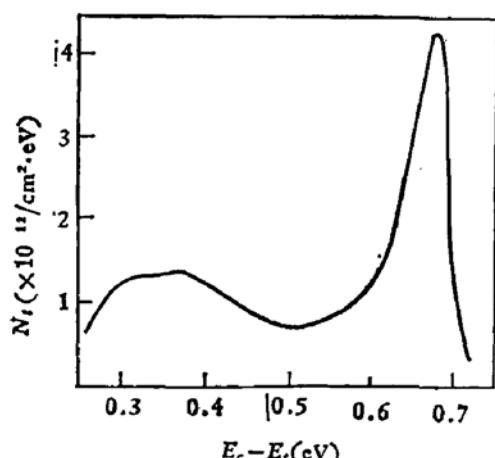


图 1 n-MOS 界面态分布

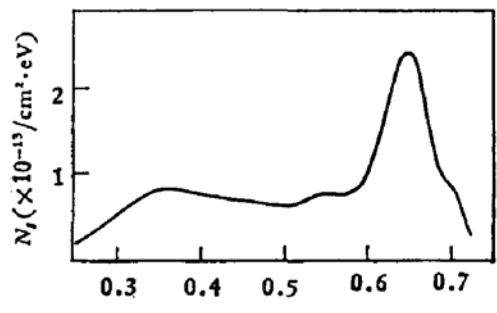


图 2 n-MNOS 的界面态分布

n 型衬底 MNOS 的界面态分布与 MOS 相似, 见图 2, 其密度约大一个数量级。导带下 0.64 eV 的峰是体内能级产生的。

2. 硅中深能级杂质

在大部分样品中分别测到一些体内能级, 其位置约在导带下 0.3 eV 或 0.5 eV (n 型) 或价带上 0.3 eV (p 型)。为了判别这些能级是否是由金沾污引起的, 专门测了掺金 MOS 样品, 发现金在硅中引起的峰同时有二个, 在 P 型中 0.5 eV 的峰较小, n 型中 0.3 eV 的峰较小。未掺金的 MOS 中一般只测到一个峰, 可以认为该能级不是金引起的。

3. p 型衬底 MOS 的界面态

测得 p-MOS 界面态如图 3。较大的峰是体内能级。近价带处界面态也是下降的。在深能级峰到禁带中央一段未测到界面态。因为在极小的反偏压下, 体内杂质的峰也很大, 说明这种能级是延伸到界面, 可能界面态与这能级相互有作用, 导致在深能级峰后的界面态不发射电子。P 型 MOS 界面态特异之处可能与空穴俘获率小有关^[3, 5, 6]。

4. 高反偏压下出现的分立能级

某些 n 衬底 MOS 在高反压下会出现一些分立的

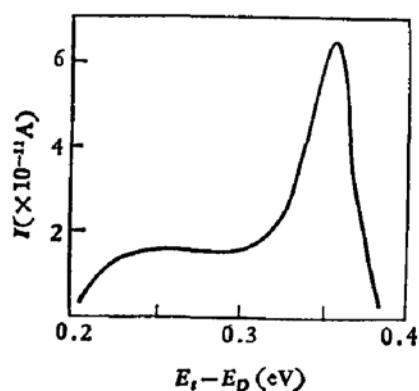


图 3 p-MOS 界面态分布

能级,位置在导带下0.4—0.5 eV,且随偏压不同,电流峰会有变化。有一批样品上的MOS管中所测到的这种能级会随偏压增大其激活能减小,即电流峰移向低温方向。偏压在9伏以下,其结果与图1相似,反偏大于9伏时出现新的能级。其位置随偏压增加而向低温方向移动。反偏达到16伏时,该能级还会进一步分裂成两个能级。其激活能大小与偏压有线性关系(图5)。由于样品都是低温下氧化且未退火处理,氧化层质量较差,可能是氧化层缺陷引起这类缺陷。

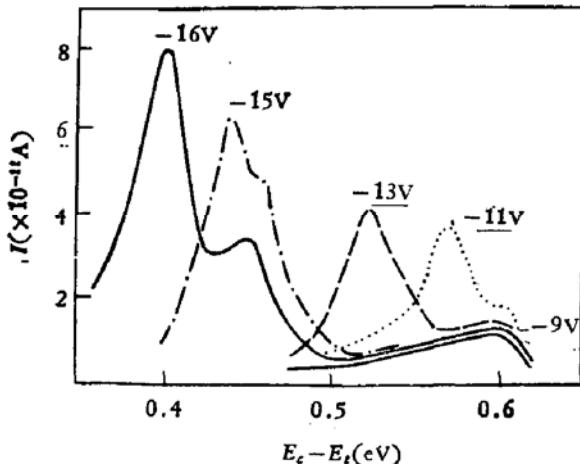


图4 激活能随偏压变化的分立能级

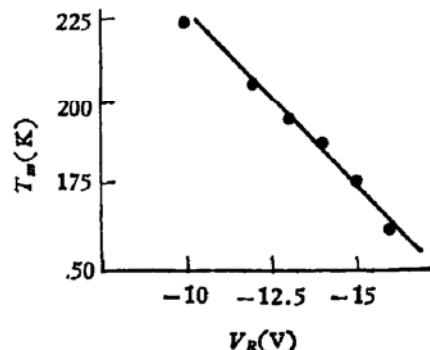


图5 激活能与偏压关系

四、小结

1. 热激电流法是基于能级发射和俘获载流子的特性进行测量,测得的是参与载流子俘获和发射的界面态的表观密度分布,它反映了界面态的动态特性。
2. p-MOS 界面态很小,除了归结于空穴俘获截面小外,还无正确解释。
3. 在氧化层质量较差的器件中测到一些分立能级。

参 考 文 献

- [1] J. S. Uranwala, J. G. Simmons and H. A. Mar, *Solid-St. Electron.*, **19**, 375 (1976).
- [2] H. A. Mar and J. G. Simmons, *IEEE Trans.*, ED-24, 540 (1977).
- [3] E. D. Nicollian and A. Geotzberger, *Bell Syst. Tech. J.*, **46**, 1055 (1967).
- [4] H. Deuling, E. Klausmann and A. Geotzberger, *Solid-St. Electron.*, **15**, 599 (1972).
- [5] K. L. Wang, *IEEE Trans.*, ED-26, 819 (1979).
- [6] N. M. Johnson, D. J. Bartelink and M. Schulz, International Topical Conference on the Physics of SiO₂ and Its Interfaces, ed. S. T. Pantelides, 356 (1978).

Determination of Si-SiO₂ Interface State by Thermally Stimulated Current Method

Sheng Chi
(Fudan University)