

研究简报

关于 MOS 结构深耗尽 $c(\nu)$ 特性的转折现象

马鑫荣 李志坚

(清华大学微电子学研究所)

1984年2月28日收到

最近,据 K. S. Rabbani 和 D. R. Lamb^[1] 报道,他们在某些 n 型硅 MOS 结构上观察到了反常的高频 $c(\nu)$ 特性和脉冲 $c(t)$ 特性,即在一定的高负栅极电压下,上述两种特性曲线都出现了某种“转折”现象. 他们不能解释这种现象,只推想它也许和某种局部的体缺陷有关. 我们在自己的 P 型硅 MOS 结构上,无例外的重复地得到这种“转折”现象,并证明,这一现象是价带电子向表面耗尽区隧道注入的结果. 图 1(a) 是所采用的样品结

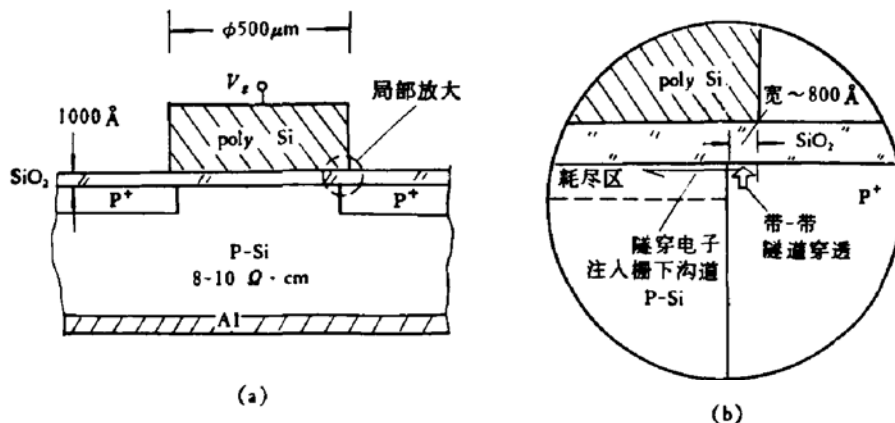


图 1 (a) 本文测试样品剖面图 (b) 局部放大以标明场致隧道效应

构示意,栅极周围注入浓硼(典型注入条件: 60keV, 剂量 $5.5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$, 退火条件 900℃, 30', N_2 气氛), 在表层形成 P^+ 区以消除由于 P 型硅表面反型引起的高频 $c(\nu)$, $c(t)$ 特性的不稳定性^[2]. 在栅极加上正的斜波驱动电压, 所测得的高频 $c(\nu)$ 特性的典型曲线示于图 2 中, $c(\nu)$ 曲线的 A 点即为 Rabbani 等所观测到的“转折”点. 在此点前 $c(\nu)$ 特性显示深耗尽,而由此点起耗尽开始减少. 和 K. S. Rabbani 等不同的是,我们还观察到从 B 点以后深耗尽的更快消失, $c(\nu)$ 特性迅速上升到接近于正常的 c_{min} . 我们同时测定了相应的 $I(\nu)$ 特性(也示于图 2 中), 发现对于 A, B 等转折点, $I(\nu)$ 显示出很大的电流峰(远大于 $\alpha \cdot c_{\text{ox}}$)*.

测量了同一个 MOS 结构在图形四周注硼前后的 $c(\nu)$ 和 $I(\nu)$ 特性,也比较了同一个硅片上的注浓硼图形和不注硼的控制图形的特性,结果表明,不注硼或未注硼前的图形不

* α 为斜波电压的斜率.

发生任何上述转折现象,即使栅压 V_g 加到 60 伏以上也只能观测到正常的深耗尽 $c(v)$ 和 $I(v)$ 特性^[3],而对于四周注入了浓硼的图形则毫无例外地都发生转折现象。(转折点 A 对应的栅压与注硼剂量有关)这组实验表明:栅电极周围注浓硼是引起 $c(v)$ 和 $I(v)$ 特性出现转折现象的根本原因。

然后,我们改变了注入剂量,分别为 1×10^{12} , 5×10^{12} , 1×10^{13} , $\dots$, 1×10^{15} 和 $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ (注入能量采用 60keV 和 40keV 两种)。结果表明,在这两种注入能量下,当注入剂量 $\leq 5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 时,样品不出现转折现象。而当剂量 $> 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 时,样品一定会出现转折现象。采用 SUPREM 工艺程序计算了注入区表面受主浓度,发现出现转折现象时的 P^+ 区表面受主浓度均大于 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

转折点以后深耗尽不再随电压升高而继续加深,反而逐渐减小,同时 $I(v)$ 特性相应地出现了大尖峰,这说明,由 A 点开始,发生了一种新的向表面耗尽层的电子注入效应。鉴于这一效应与 P^+ 区的存在有关,因此可认为有两种可能:一是电子由 P^+ 价带向耗尽区的隧道注入(参看图 1(b)),二是 P^+ 表面耗尽区里的雪崩倍增效应。

我们的下列实验表明,在这里隧道效应而不是雪崩倍增效应起着主导的作用。

光照实验。采用白光和经过厚达 1cm 的 $8-10 \Omega \cdot \text{cm}$ 硅片滤过的体内均匀产生光二者去辐照样品,辐照方式又分为恒定辐照和只在深耗尽的初始阶段,即在转折点 A 以前的低栅压时辐照,然后切断光源。光强以仍能观测到部分深耗尽特性为限。结果表明,光照只使得 $I(v)$ 特性中电流峰值减小,并不影响电流波形的形状,也没有使产生峰值电流及相应 $c(v)$ 特性中 A 点的栅压降低。这清楚地表明,光引入的载流子在转折期间没有倍增现象产生。

温度实验。在其它条件都不变的情况下,把样品温度由室温逐渐降至 100K,同时监测 $I(v)$ 特性。结果表明,电流随温度的上升而略有上升。这一结果与雪崩倍增电流效应相背,考虑到硅体内由价带向导带隧道跃迁是一种非竖直跃迁,电流随温度增加是支持隧道效应机理的。

用 SUPREM 工艺模拟程序计算了 P^+ 区的杂质分布,根据这个分布再用我校的 MOS 器件二维模拟程序计算了 P^+ 区电场分布,结果表明,在能观察到 $c(v)$ 转折现象的样品中,表面电场可强达 $9 \times 10^5 \text{ V/cm}$ 以上,而相应的耗尽区宽度约为 100—250 Å,这表明可以产生隧道注入,而这样的宽度对于雪崩倍增是不利的。

图 1(b) 中给出了隧道注入的简化图式。即随栅压升高,栅下和侧栅下表面都耗尽,但侧栅下电场远强于栅下,达到 A 点后侧栅下电子由 P^+ 区向耗尽区注入,并由横向电场

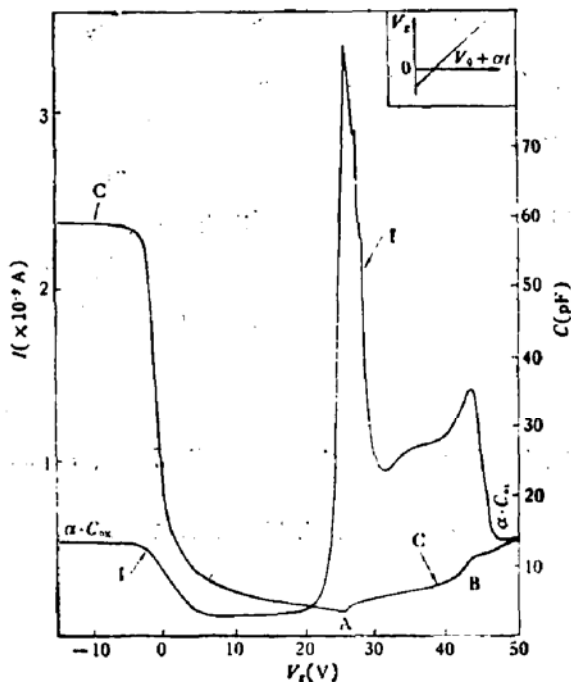


图 2 典型的 $c(v)$ 、 $I(v)$ 特性. 注意转折点 A、B 和它们所对应的电流峰

“扫入”栅下(在同一栅压下,栅下势阱远深于侧栅下),形成注入,相应地观察到 $c(v)$ 转折和 $I(v)$ 跳变。当注入达到接近于使栅下和侧栅下的载流子达到平衡时(B点),电流 I 就变为正常的 αc_{ox} 而 c 则可达到一平衡值高于正常的高频 c_{min} 。后者的原因是,隧道注入是一个非常高速的过程,使 1MHz 测试信号已不能视作“高频”测试。

以上讨论说明,虽然 Rabbani 等用的是 n 型 Si,并没有专门的离子注入区。但可以认为他们所见到的很可能是相同的效应,只不过是出于某些偶然引入的强场区而已。还值得指出的是,更精确的测量表明,一些 $I(v)$ 曲线具有比图 2 所示的情形更多的有趣的细节,它们显示出电子的表面二维量子化效应。对此我们不久将以另文详细地予以报道。

参 考 文 献

- [1] K. S. Rabbani and D. R. Lamb, *Solid-State Electronics*, 26, 366 (1983).
- [2] 马鑫荣、田立林、李志坚,半导体学报, 2, 288(1981).
- [3] L. Faraone, J. G. Simmons, Anant K. Agarwal and P. D. Tonner, *Solid-State Electronics*, 24, 709 (1981).

On the “Kink” in $c(v)$ Curves of Deep Depleted MOS Structures

Ma Xinrong and Li Zhijian

(Institute of Microelectronics, Qinghua University)

Abstract

Distinct kinks are observed in the $c(v)$ and $I(v)$ curves of a deep depleted ptype silicon MOS structure implanted with boron into the area round the gate electrode. This is originated from the tunneling injection of valence electrons from the P^+ surface region near the gate electrode into the depleted channel. Experimental evidences are presented.