

一种新型的光敏变容管的研究

陈 杰

(杭州应用工程技术学院电机系 杭州 310012)

摘要 本文提出了一种特种光敏器件——光敏变容器,它不但是一种压控电容器,而且还是一种光致变容器。样管采用高阻 P 型硅($\rho=12000\Omega\cdot\text{cm}$)单晶材料制成,在激光辐射下,测出样管在光照前后的 $C-V$ 特性曲线,样管的电容在光照前后有大的变化,样管与红外发光二极管对顶封装时,样管在红外光照射前后电容相对变化率可达 35.1%。而用低阻 P 型硅($\rho=4\Omega\cdot\text{cm}$)制成的样管,在同样条件下,电容量几乎不变,这为光电探测和光电子集成提供了新思路。

PACC: 4280, 7280, 7240

1 引言

硅是微电子器件的主要材料,它具有其它半导体材料无可比拟的优越性,它作为制作平面光敏器件重要的基底材料而被广泛使用,主要原因是它具有良好的热传导性、价格便宜、化学稳定性好和机械强度高优点。它作为制作光探测器的材料,也易于实现同微电子线路单片集成。特别是在超大规模集成电路系统引入光互联技术的观点被提出以后^[1],硅基集成光学技术和硅基光电子技术更引起人们的关注。提高集成电路性能的一个方向是将传播速度更快,信息容量更大的光引进集成电路,形成光电集成。如果能用光互联代替目前所采用的电互联,则将大大改善集成电路的性能,提高计算机的速度。

以往人们在低阻硅衬底上进行了大量的研究,文献[2]报道了金属-半导体接触的光电容,PN 结光电容以及 MOS 电容在光照下最小电容的改变,这些电容量在光照前后的改变量都不大。随着硅材料提纯和生长技术的进步,特别是高纯度硅烷气提纯技术的完成,区熔高阻硅单晶纯度正在不断提高,如何利用高纯硅中杂质浓度很低(约 $10^{11}\sim 10^{12}\text{cm}^{-3}$)和十分敏感的光电效应制成特种光敏器件,这是值得探讨的。

我们在高阻 P 型硅($\rho=12000\Omega\cdot\text{cm}$)单晶材料上制作了光敏变容管,测出样管在激光辐射前后的 $C-V$ 特性曲线,并把管芯与红外发光二极管对顶封装,测出样管在红外光照射前后的 $C-V$ 特性曲线。

2 实验

实验样品是由高阻 P 型硅($\rho=12000\Omega \cdot \text{cm}$)单晶材料制成的,硅衬底材料的载流子迁移率 μ_p 为 $600\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,样管的芯片设计成一种梳状电极,如图 1 所示

样管的剖面结构见图 2 这种结构有利于提高管子的击穿电压

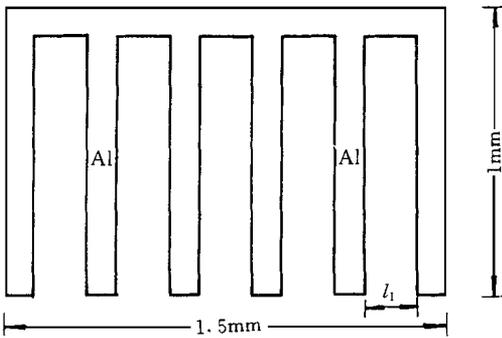


图 1 样管的芯片图形及尺寸设计

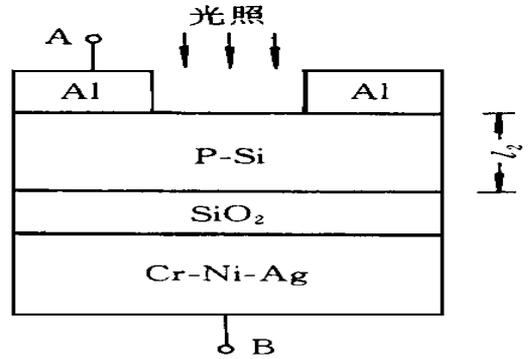


图 2 管芯的剖面结构

作为衬底的原始 P 型高阻硅单晶片,需进行表面抛光处理,以减少重金属杂质对高阻硅表面的影响。采用 SiO_2 抛光液来进行双面抛光处理,再经过化学清洗,烘干。硅片的厚度应尽可能薄,并在其表面上生成厚度为 250nm 的致密 SiO_2 层。在 SiO_2 上蒸铬-镍-银,制成底电极,去除另一面的 SiO_2 层,并使厚度 l_2 减为 $0.16\mu\text{m}$,用特种工艺技术,在 P 型高阻样品上制成欧姆接触^[3]。样管管芯尺寸为 $1 \times 1.5\text{mm}^2$ 。采用管脚尺寸为 $\Phi 5$ 的引线片进行点焊,用无色环氧树脂进行圆形封装。另外,再取芯片与红外发光二极管的芯片进行对顶封装。

我们采用 JGM -1 型激光器作为光源(激光波长为 $1.06\mu\text{m}$),其输出能量大小可以通过改变泵浦电压连续可调。用碳斗激光能量计测量出泵浦电压与激光能量输出间的关系,实验曲线见图 3 所示。从实验曲线可以看到,随着激光泵浦电压的增加,激光器输出能量成线性增加。为提高能量密度,在谐振腔出光口放置焦距 F 为 500mm 的聚光镜,并用碳斗激光能量计测出辐射到样管表面的激光能量。可以看到,放置聚光镜后辐射到样管表面的激光能量比聚光镜放置前的能量减少约 $10\sim 20\%$,见图 3 所示。但适当调节聚光镜的位置可以使光斑直径减小,达到提高能量密度的目的。

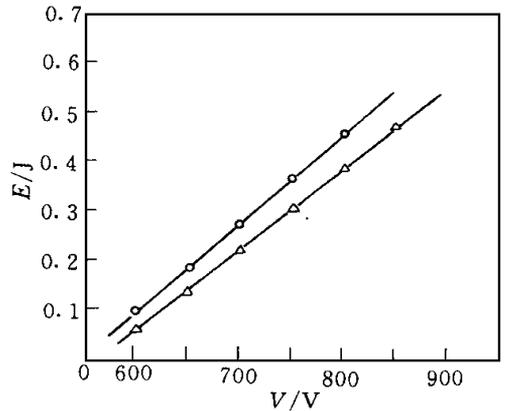


图 3 激光器泵浦电压与输出能量的曲线
无聚光镜 有聚光镜

3 结果与讨论

我们测得了样管在不同光波、光强下的 $C-V$ 特性曲线, 见图 4 所示。由图中可见, 样管在光照前后电容发生了大的变化, 特别是与红外发光二极管对顶封装后, 在红外光照射下, 样管电容的相对变化率达 35.1%。激光光强 $930\text{mW}/\text{mm}^2$, 红外发光二极管的波长 950nm , 光强 $700\text{mW}/\text{mm}^2$ 。

而用低阻 P 型硅片 ($\rho=4\Omega\cdot\text{cm}$), 用同样的工艺参数制成的样管, 其光照前后 $C-V$ 特性曲线几乎不变, 如图 5 所示。光照只能使反型区的最小电容略有增加。这是由于光照使少子产生率增加, 部分少子的产生与复合跟得上外加信号的变化, 对反型层电容有贡献, 增加了电容值。

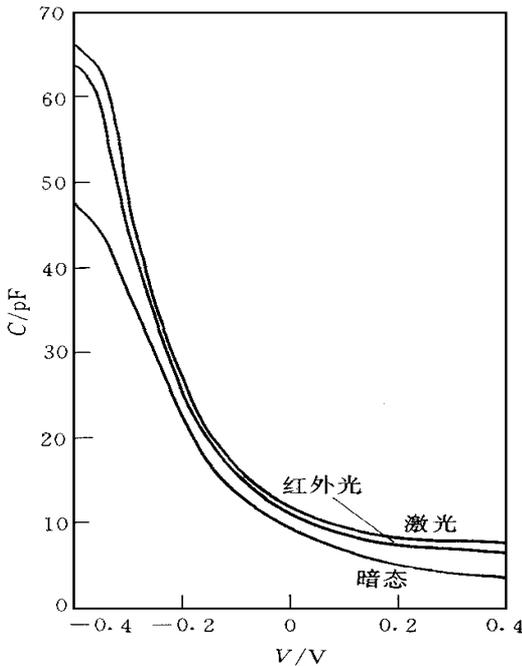


图 4 样管 ($\rho=12000\Omega\cdot\text{cm}$) 在不同光波、光强下的 $C-V$ 特性曲线

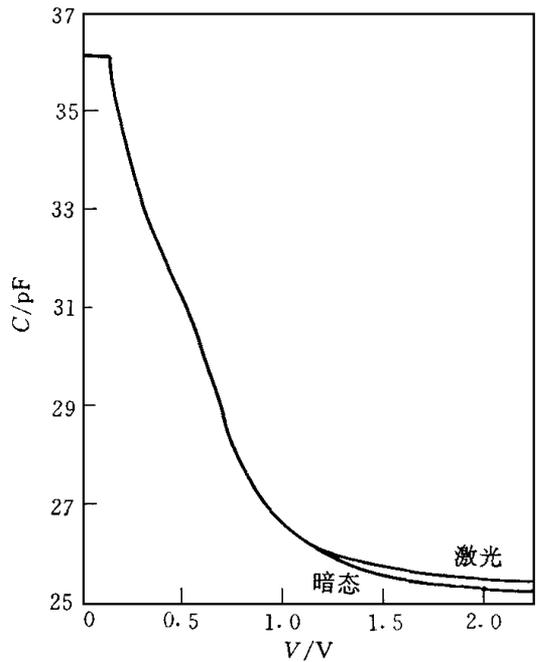


图 5 样管 ($\rho=4\Omega\cdot\text{cm}$) 在激光辐射前后的 $C-V$ 实验曲线

由图 2 所示样管的纵向结构设计, 分析出它的等效电路图, 如图 6 所示。其总电容 C 由下式计算:

$$C = \left[\left(\frac{1}{C_{\text{ox}}} \right) + \left(\frac{1}{C_s + C_{\text{ss}}} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

其中 C_{ox} 为 SiO_2 中的电容; C_s 为半导体表面空间电荷区单位面积的电容; C_{ss} 为与界面电荷有关的单位面积电容。若固定界面电荷密度与表面电势无关, 则 $C_{\text{ss}}=0$, 此时式 (1) 可简化为:

$$C = \left[\left(\frac{1}{C_{\text{ox}}} \right) + \left(\frac{1}{C_s} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

由实验证明,对于许多电阻率高的光电材料,虽然由本征吸收产生的 Δn 和 Δp 相等,但只有其中一种光生载流子(一般是多数载流子),在较长时间存在于自由状态,并且密度超过 $10^{19} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$,产生了类似于金属特性的电导^[4],在半导体表面及内部形成横向迁移现象。据报道^[5],电荷的横向迁移程度与样品表面电导密切相关,随表面电导的增大而扩展。对于高阻 P 型硅来说,其表面吸收光子后,会产生大量的密度超过 $10^{19} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 的等离子体,这便产生了类似于金属特性的电导,即硅表面将发生兼并,足够薄的金属-半导体势垒对通过势垒的隧道载流子几乎“透明”,无阻挡作用。一般认为,耗尽层厚度约在 10nm 的数量级时,将会有明显的隧道效应。所以,在高阻 P 型硅表面蒸上电极,在光照下,就会产生电荷横向效应,使得高阻 P 型硅表面电导急剧增大,导致分离电极互连,对于电容来说就是增大了电容的有效电极面积,使光照前后电容容量得到变化。以下讨论影响电容变化的主要因素

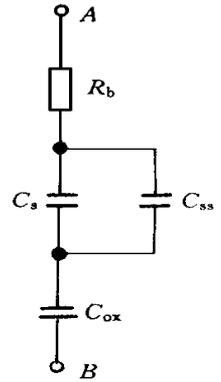


图 6 光敏变容管的等效电路图

3.1 ΔC 与光源及光强有关

ΔC 是由电子或空穴浓度的改变而产生的,它主要由本征吸收、杂质吸收和等离子吸收产生的。所谓本征吸收是由电子从价带跃迁到导带所引起的吸收,也称基本吸收。引起本征吸收的光子能量必须满足条件 $h\nu \gg E_g$ 。根据禁带宽度,本征吸收发光在光谱的可见光或近红外部分。而杂质吸收则是由杂质电离,即电子由杂质原子跃迁到导带或价带电子跃迁到杂质能级引起的光吸收。等离子吸收是由电子或空穴的集体引起的吸收。所以,半导体材料硅对各种波长的光波的吸收是有选择性的,即对从可见光-近红外波长区能有效地进行吸收。

对于光强的要求是越大越好,光强越大,光照前后管子的光电容变化亦越大。

3.2 ΔC 与介电常数有关

由(2)式,可得

$$\Delta C = \frac{C_s C_{ox}}{C_s + C_{ox}} - \frac{C_s C_{ox}}{C_s + C_{ox}} \quad (3)$$

其中 C_s 与光生载流子有关, C_{ox} 越大,由 C_s 改变而引起的 ΔC 就越大。故应尽可能选用介电常数大的电介质。例如, Ta_2O_5 的介电常数 $\epsilon = 21$, Al_2O_3 的介电常数为 $\epsilon = 7 \sim 9$, SiO_2 的介电常数为 $\epsilon = 3.5$ 。

该器件可在光电探测、频率式接口电路和硅基光电子技术等领域中有望获得实际的应用。

4 结论

本文研究了一种特种光敏器件——光敏变容器。在光照下,样管的电容在瞬间发生急剧变化。样管采用高阻 P 型硅 ($\rho = 12000 \Omega \cdot \text{cm}$) 单晶材料制成。在激光辐射下,测出样管在光照前后的 $C-V$ 特性曲线,样管的电容在光照前后有大的变化。样管与红外发光二极管对顶封装时,样管在红外光照射前后电容相对变化率可达 35.1%。而用低阻 P 型硅材料 ($\rho = 4 \Omega \cdot \text{cm}$) 制成的样管却无此特性,这为光电探测和光电子集成提供了新思路。

参 考 文 献

- [1] 祖继锋, 等, 半导体技术, 1992, 17(4): 10
[2] 方俊鑫, 固体物理学, 北京: 高教出版社, 1981, 79~ 83
[3] 钟信群, 上海半导体, 1988, (1): 25~ 28
[4] 孙为编, 微电子测试结构, 上海: 华东师范大学出版社, 1984, 121~ 125
[5] Y. Furukawa and Y. Ishibashi, J. Appl Phys 1996, 67(2): 837~ 843

Study on Novel Photocapacitance Device

Chen Jie

*Department of Electrical Machinery, Hangzhou Institute of Applied
Engineering and Technology, Hangzhou 310012)*

Received 2 May 1998, revised manuscript received 31 July 1998

Abstract This paper proposes and investigates a novel capacitor, i.e. photocapacitance device. It is not only a voltage controlled capacitor, but also a photocapacitor. The samples made from high-pure P-type silicon ($\rho=12000\Omega\cdot\text{cm}$) are fabricated. The C - V curves with and without laser radiation are measured. It is found that its capacitance can be significantly changed by laser radiation. In addition, with the package of infrared-diode on the top of the photocapacitor, the relative variation ratio of the capacitance in the samples with and without light radiation can reach 35.1%. But the relative variation ratio for low-resistivity P-type silicon photocapacitor is near zero in the same condition. It will lead to some new idea on photodetectors and optoelectronic integration.

PACC: 4280, 7280, 7240