

# Al-Si 欧姆接触的连续 CO<sub>2</sub> 激光辐照合金化

陈存礼 范仁永

(南京大学物理系)

1982年8月9日收到

## 提 要

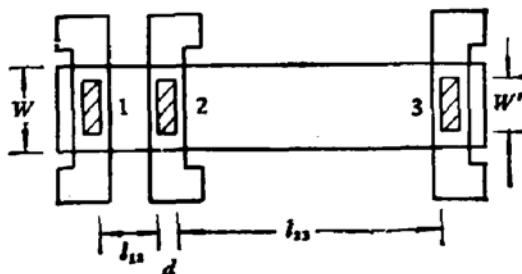
本文报道了用连续 CO<sub>2</sub> 激光辐照代替热合金化做 Al-Si 欧姆接触。由于激光退火具有瞬时退火的特点，避免或是明显地减少导致浅结器件失效的 Al-Si 互扩散现象，从而达到保持良好结特性的欧姆接触。为提高大规模集成电路的集成度提供了一条途径。

众所周知，在硅器件和集成电路中广泛采用 Al-Si 接触经热合金化（例如在 N<sub>2</sub> 中于 500℃ 下加热 20—30 分钟）后作为欧姆接触。合金化过程中，硅不断向铝中扩散，直至达到该温度下硅在铝中的平衡溶解度。对于 1 μm 厚的 Al 薄层，如果从接触面积均匀地溶解硅，500℃ 下只需要 100 Å 的硅<sup>[1]</sup> 就足够了。实际上由于这种溶解不可能是均匀的，而且硅在铝薄层中的扩散又非常迅速<sup>[2]</sup>，结果常在 Al-Si 接触界面的局部地区形成一些蚀坑，导致 PN 结的特性变坏甚至短路。这种现象对浅结尤为严重，是半导体器件的失效模式之一<sup>[3]</sup>。

随着大规模集成电路的发展，集成度愈来愈高，如果仍采用常规的 Al-Si 接触热合金化作为欧姆接触的话，这将是高集成度的重要障碍之一。在 Al-Si 之间夹一层过渡层，例如铂<sup>[4]</sup>、钯<sup>[5]</sup> 或是重掺杂的多晶硅层<sup>[6]</sup> 等，以及采用铝-硅合金代替纯铝可以减少 Al-Si 之间的互扩散作用，但这些方法给工艺带来许多不便。我们提出采用激光辐照代替热合金化，考虑到激光退火具有瞬时退火的特点，预期可以避免或是明显地减小 Al-Si 互扩散现象，从而达到保持良好结特性的欧姆接触。

## 一、 实 验

把电阻率为 8-10 Ω·cm 的 P 型〈111〉直拉硅单晶抛光片，用标准平面工艺做成如图 1 的测试结构，扩磷的浅 N<sup>+</sup> 层（0.3 μm）的薄层电阻  $\rho_s = 20 \Omega/\square$ 。一部分样品放在波长为 10.6 μm 的连续 CO<sub>2</sub> 激光器的样品台上，以纵向扫描速率 0.73 mm/s、横向每次移动 0.5 mm 受激光辐照。CO<sub>2</sub> 激光器的输出功率为 25 瓦，输出大小靠调节样品与射出口的距离来改变。另一部分样品则按常规的热合金化工艺在 N<sub>2</sub> 中于 500℃ 加热 30 分钟。处理过的样品进行接触电阻率  $\rho_c$  的测量。

图1 接触电阻率  $\rho_c$  的测量图形

## 二、接触电阻率 $\rho_c$ 的测量原理

由图1, 在电极1、2或2、3的上端通电流  $i_{12}$  或  $i_{23}$  后, 在电极的下端测得相应的电压为  $V_{12}$  或  $V_{23}$ , 则有

$$R_{12} = \frac{V_{12}}{i_{12}} = \rho_c \frac{l_{12}}{W} + 2(R_c + R_w) \quad (1)$$

$$R_{23} = \frac{V_{23}}{i_{23}} = \rho_c \frac{l_{23}}{W} + 2(R_c + R_w) \quad (2)$$

于是电极 Al 与 Si 之间的接触电阻

$$R_c = \frac{R_{12}l_{23} - R_{23}l_{12}}{2(l_{23} - l_{12})} - R_w \quad (3)$$

式中  $R_w = \frac{\rho_s}{2\pi} \left[ \frac{1}{K} \ln \frac{K+1}{K-1} + \ln \frac{K^2-1}{K^2} \right]$  (4)

是由于铝电极宽度  $W'$  小于 N<sup>+</sup> 层宽度  $W$  所引起的电流边缘效应<sup>[7]</sup>的修正, 这里

$$K = \frac{W}{W - W'}.$$

对于浅 N<sup>+</sup> 层, 由于电极底下电流不仅有横向还有纵向的流动, 按传输线模型<sup>[8]</sup> (如图 2), 设电极 Al 与 Si 的接触电阻率为  $\rho_c$ , 并设在接触电极之下的薄层电阻  $\rho_s$  与接触之外的  $\rho_s$  一样, 则电极 Al 与 Si 之间的接触电阻

$$R_c = \frac{\rho_s}{W\alpha} \coth(\alpha d) = Z \coth(\alpha d) \quad (5)$$

式中  $Z = \frac{1}{W} \sqrt{\rho_s \rho_c}$  称为传输线的特征电阻

$\alpha = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_c}}$  叫做传输线的衰减常数。

## 三、结果和讨论

样品受 CO<sub>2</sub> 激光器辐照后, 测得不同功率密度  $n$

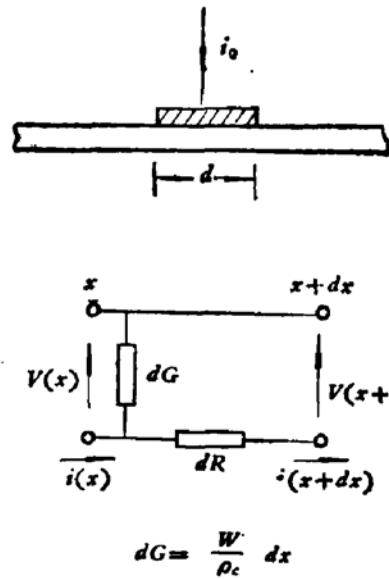


图2 传输线模型及其等效电路

下 Al-Si 的接触电阻率  $\rho_c$  值列在表 1 中。其关系如图 3 所示。图中下面的阴影部分是常规热合金化后的  $\rho_c$  值，上面的阴影部分则是未经任何处理的  $\rho_c$  值。样品的宽度  $W = 50 \mu\text{m}$ ，电极 Al 与 Si 的接触宽度和接触长度分别为  $W' = 40 \mu\text{m}$ ,  $d = 20 \mu\text{m}$ ，电极 1、2、3 间的长度分别为  $l_{12} = 50 \mu\text{m}$ ,  $l_{23} = 500 \mu\text{m}$ 。

表 1 不同激光功率密度  $n(\text{W}/\text{cm}^2)$  下的  $\rho_c$  值

$n(\text{W}/\text{cm}^2)$	72	100	152	384	556	772	1081
$\rho_c(\Omega\text{cm}^2)$	$4.61 \times 10^{-3}$	$1.66 \times 10^{-3}$	$5.70 \times 10^{-4}$	$6.50 \times 10^{-6}$	$9.37 \times 10^{-6}$	$5.65 \times 10^{-5}$	$1.28 \times 10^{-5}$

由图 3 可见，激光辐照后，Al-Si 的接触电阻率  $\rho_c$  随功率密度  $n$  的增大而变小，达到一极小值后又随  $n$  的增大而增大。这是由于样品开始受到激光辐照的能量很小，Si 被溶解的很少，几乎很少有 Al-Si 共晶体的过渡层，因而其接触近似于机械接触， $\rho_c$  很大，接近于未作任何处理的  $\rho_c$  值。随着  $n$  的不断增大，Si 被逐渐溶解，当  $n$  达到某一适当值 ( $\sim 450 \text{ W/cm}^2$ ) 时，在溶解和再结晶的过程中，形成一层良好的 Al-Si 共晶体的过渡层，而使  $\rho_c$  达到一最佳值 ( $\sim 6 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}^2$ )，与常规的热合金化  $\rho_c$  值相当。 $n$  再增大后，过渡层中除有 Al-Si 共晶体之外还有过量的 Si 析出，因而接触性能变坏， $\rho_c$  又增大。

为了检查经激光辐照后 PN 结的特性有否变坏，对 30 只和接触测试图形做在一起的二极管进行反向电流的测量。二极管的面积为  $350 \times 350 \mu\text{m}^2$ ，未加保护环，测试条件是反向电压 1 伏。结果如图 4 所示。

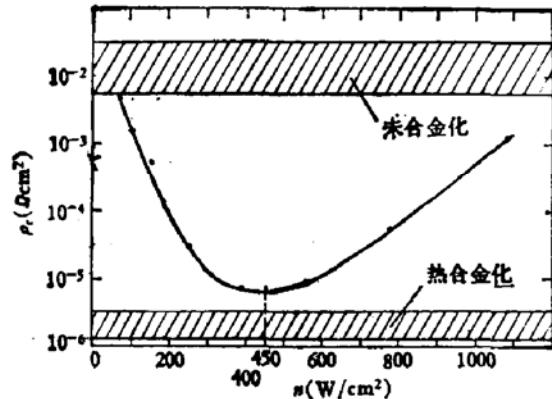
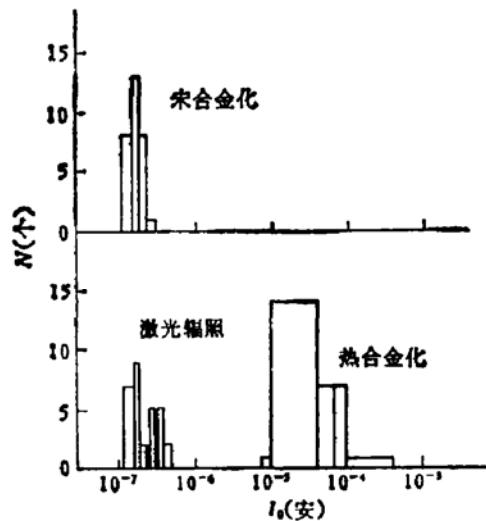
图 3 激光功率密度  $n$  与接触电阻率  $\rho_c$  的关系

图 4 二极管的反向电流直方图

图中上面是未经任何处理的样品，其反向电流多集中在  $2 \times 10^{-7}$  安左右。右下方是热合金化的样品，大部分集中在  $4 \times 10^{-5}$  安左右，比未合金化的要大两个数量级，结特性明显变差。而受激光辐照的二极管，其反向电流多在  $(1.7-4.0) \times 10^{-7}$  安范围，和未合金化的差不多，比热合金化的则小得多。经激光辐照后，结的特性没有什么变化，保持良好。

再将经连续  $\text{CO}_2$  激光辐照和热合金化的样品剥去 Al 层，进行扫描电子显微镜观察，其形貌如图 5 所示。用 CW  $\text{CO}_2$  激光辐照后，Al-Si 接触界面上(图 5a)的缺陷小而

密,其结特性较均匀。对比之下,热合金化后的 Al-Si 接触界面上(图 5b),虽然密度较小,但其线度较大,在这些地方 Al-Si 互扩散现象较为严重,因而导致其结的特性变坏。

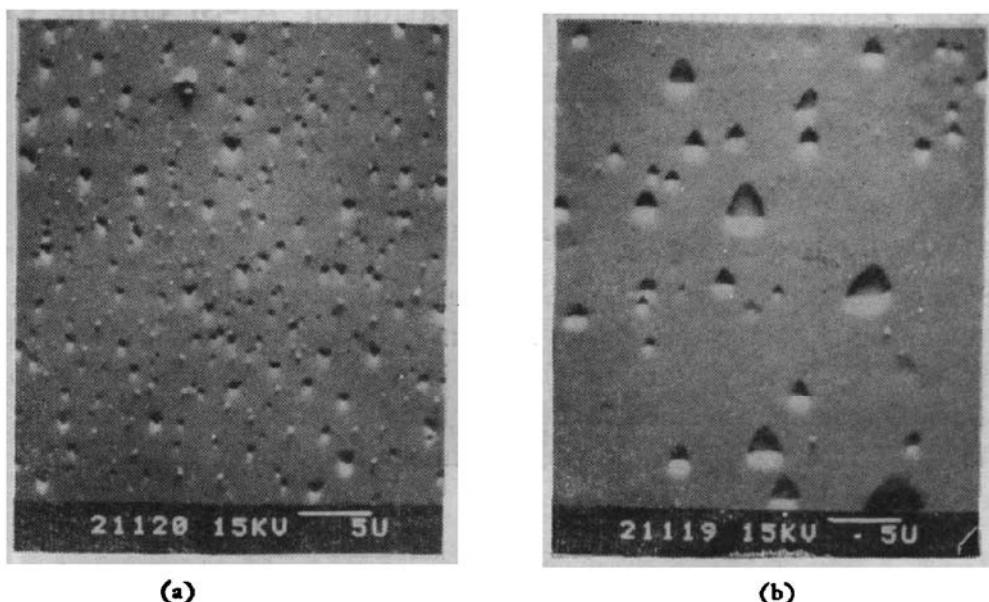


图 5 剥去 Al 层后 Al-Si 接触界面上的扫描电镜照片。(a) 经 38.4 W/cm<sup>2</sup> 功率密度的 CW CO<sub>2</sub> 激光辐照 (b) 热合金化

综上可见,用连续 CO<sub>2</sub> 激光辐照代替热合金化,不仅可以得到相当好的欧姆接触,其  $\rho_c \sim 6 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ ,而且结的特性没有变化,保持良好,工艺上也极为简单。这种瞬时退火对浅结情况尤为适用,它避免或是明显地减小了 Al-Si 的互扩散,这在大规模和超大规模集成电路技术中特别重要,是避免失效的重要因素之一,从金属化的角度提供了提高集成度的途径,颇有发展前途。

样品的制备得到南京晶体管厂三车间的协助,工作中得到朱兵同志的帮助,在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] S. P. Bellier and L. B. Ehlert, *Semiconductor Silicon*, 1973, p. p. 304—314.
- [2] J. O. McCaldin and H. Sankur, *Appl. Phys. Lett.*, **19**, 524 (1971).
- [3] L. A. Berthoud, *Microelectronics and Reliability*, **16**, 165 (1977).
- [4] H. H. Hosack, *J. Appl. Phys.*, **44**, 3476 (1973).
- [5] C. J. Kircher, *J. Appl. Phys.*, **47**, 5394 (1976).
- [6] M. Filletti, P. Ostoja, S. Selmi and G. Soncini, *Solid-State Electronics*, **23**, 255 (1980).
- [7] P. M. Hall, *Thin Solid Films*, **1**, 277 (1967/1968).
- [8] H. H. Berger, *Solid-State Electronics*, **15**, 145 (1972).

## CW CO<sub>2</sub> Laser Irradiation Metallization of Al-Si Ohmic Contact

Chen Cunli and Fan Renyong

(Department of Physics, Nanjing University)

### Abstract

Al-Si ohmic contact made by CW CO<sub>2</sub> laser irradiation instead of sintering is reported. Laser annealing having the feature of transient annealing, Al-Si interdiffusion phenomenon which causes the failure for shallow junction device can be avoided or decreased significantly, therefore ohmic contact with good junction property can be achieved. This method offers a way for improving the integrated density of LSI.