

在离子注入硅激光退火时引入缺陷

鲍希茂 黄信凡 郭禾 张梅

(南京大学物理系)

1982年10月12日收到

提 要

我们用 CWCO₂ 激光对注 B⁺ 硅片从背面进行辐照, 注入的样品受到激光退火的同时, 在背面附近的体内引入了大量的晶格损伤。这些损伤可以作为有害杂质的非本征吸杂源。

引 言

激光退火研究中有两个问题引起我们的注意: 一是硅平面器件往往是多层结构, 表面覆盖有不同厚度的二氧化硅层, 由于二氧化硅层的抗反射效应和激光的干涉效应, 可能使样品的某些区域退火不足而使另一些区域却遭受损伤^[1]。二是激光辐照, 特别是连续激光辐照可能引起损伤, 受损伤的区域出现大量的位错和滑移线^[2]。前一个问题已有文章提出, 采用透射系数较大的连续 CO₂ 激光对离子注入样品从背面进行辐照, 并已取得较好的结果^[3]。关于后一个问题多数研究工作提出, 在不影响电学性质恢复的前提下, 降低激光的功率密度^[4]。另一方面, C. W. Pearce 等指出, Nd: YAG 脉冲激光辐照在硅片背表面附近的薄层中引起大量的损伤——高密度位错, 而且证实这些激光辐照损伤对有害杂质有吸除作用, 可改善器件的电特性^[5]。以这种方法取代通常的磷吸杂^[6], 二步退火法^[7] 和喷砂吸杂等工艺, 可避免长时间高温热处理和沾污。

我们的研究工作是试图对正表面作过硼离子注入的硅片, 从背表面进行 CWCO₂ 激光照射, 对处于正表面的注 B⁺ 层达到激光退火的目的, 同时在背面附近深人体内的 1/3—1/2 的厚度内引入高密度位错, 根据 C. W. Pearce 等人的结果, 这些位错在硅片体内可作为金属杂质的吸杂源, 从而把激光退火和吸杂源的引入在一步工序完成。CO₂ 激光的波长为 10.6 μm, 硅对该激光束的吸收是自由载流子吸收, 一般穿透深度可达 10³—10⁴ μm。硅对 CO₂ 激光的吸收不但与样品内的杂质分布有关, 而且与样品原有的缺陷和损伤有关。杂质浓度较高的区域或缺陷损伤较多的地方都有较强的吸收。而样品的退火过程和激光辐照损伤的产生, 不仅决定于激光的吸收过程, 而且与样品的散热条件有密切关系。激光束从硅片背面入射, 一般样品背面比较粗糙吸收系数较大, 选择适当的激光功率密度, 使之足以在背表面一层内产生大量的辐照损伤, 而样品的正表面置于导热性能较好的衬底上, 当激光束穿透硅片, 到达正表面时, 使离子注入层退火, 从而使电性能得以恢复, 但又不足以在正表面层引起损伤。这样就可以将样品正面离子注入层的退火和背面吸杂源的引入在一次激光辐照中完成。

实验方法

样品采用电阻率约 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 的 n 型 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 100 \rangle$ 晶向的硅单晶片。正表面进行机械抛光，背表面或经 305# 金刚砂研磨或经化学抛光。硅片正表面作硼离子注入，注入能量为 80 keV、注入剂量为 $5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 。

CW CO₂ 激光束经锗透镜聚焦，束斑直径为 0.2 mm。直接照射到样品上的激光功率为 25 W，用散焦法调节功率密度。激光束的扫描速度是 0.7 mm/s，交叠 30%—70%。衬底温度 0—400°C 可调。

用范德堡法测定激光照射后样品的载流子浓度和迁移率。用四探针法确定方块电阻。辐照后的表面经 Sirtl 腐蚀液腐蚀后，用金相显微镜观察表面情况。最后，用解理-腐蚀法观察样品剖面损伤情况。

实验结果与讨论

图 1 是注 B⁺ 硅的正表面受功率密度为 1200 W/cm^2 的激光辐照后样品的剖面金相显

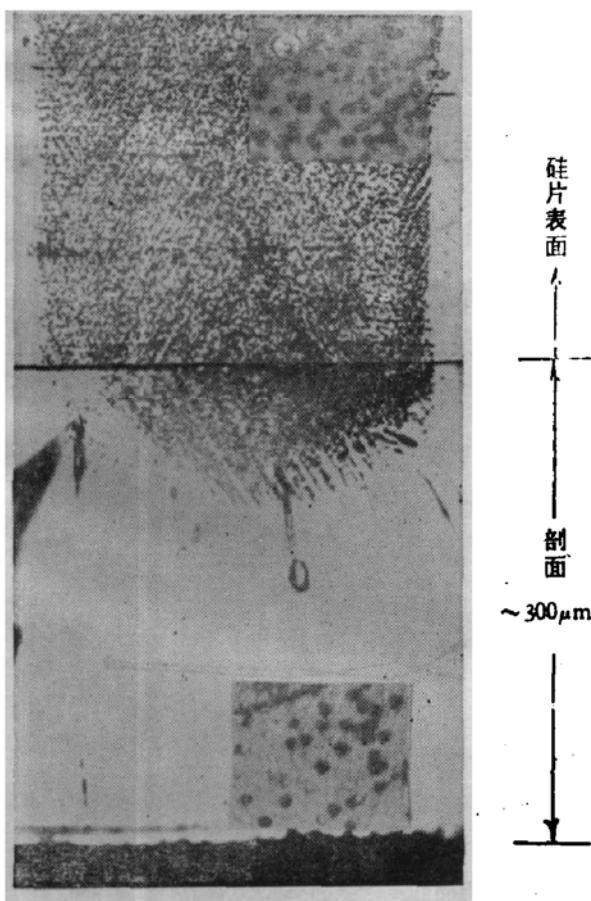


图 1 激光辐照注 B⁺ 硅表面后引进的位错

微照片。激光照射时，样品被置于散热良好的石墨衬底上。辐照后的样品被解理，解理面为 [111] 面，并用 Sirtl 腐蚀液腐蚀 2 分钟，图中的小点是位错腐蚀坑。上半部分是硅正表面，可以看到激光扫描的损伤轨迹。右上角给出正表面位错腐蚀坑放大图，样品表面是 (111) 面。位错坑呈三角形；下部是剖面图，可以看到激光损伤深入硅片体内，穿透深度约为硅片厚度的三分之一。右下角插图表明解理面上的位错蚀坑呈三角形。

为了观察样品内杂质分布及照射时样品的散热条件对激光吸收和辐照损伤的影

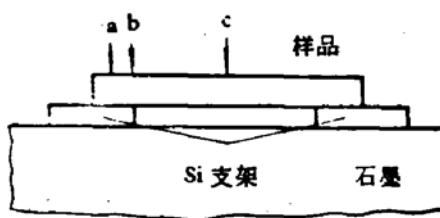


图 2 样品台示意图

响，还选用 P⁺ 衬底上外延生长 P 层的外延片作了实验。如图 2 所示，用一大块石墨作样品台，另外将两片硅片放在石墨上，作为支架，将样品架在支架上，样品的外延层朝下，激光

从背面照射。用功率密度为 470 W/cm^2 的激光扫描后，观察样品不同部位的横剖面。由于衬底是高掺杂 P^+ 区，对激光吸收较强，所以辐照损伤从这里开始产生。图 3(a) 是样品两端架在硅支架部分，即图 2 中所标的 a 处的剖面图。样品 P^+ 区的上部产生了损伤，但是，由于样品的这一部分直接与硅支架接触，散热性能较好，所以 P^+ 区下部和外延层都完好无损。图 3(b) 是 b 处附近的横剖面图。由于此处衬底散热性较差，辐照损伤已伸展到外延层与衬底的交界面，但外延层还未损伤。图 3(c) 是样品完全架空的区域，即 c 处的剖面图，此处衬底散热性最差，可以看到损伤层已穿透了整个样品，包括外延层在内。解

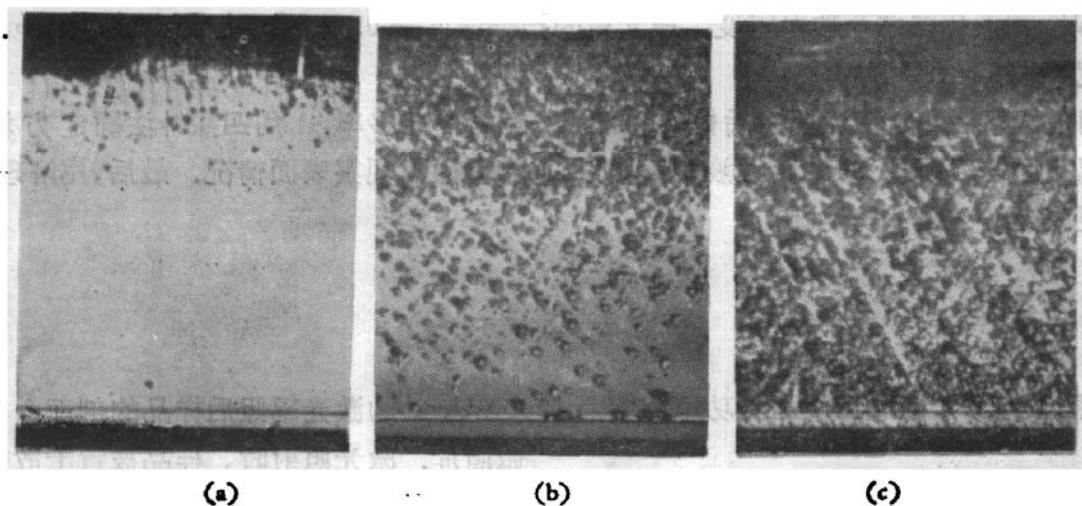


图 3 P/P^+ 外延片剖面图(下面为外延层)

理面上三角形的位错漫蚀坑清晰可见，说明辐照损伤主要是高密度的位错。以上实验证明只要适当选择激光功率密度和样品照射时的散热条件，可以在样品的一定厚度内引入高密度位错。

实验中还观察到，对于同一种样品，在同样的散热条件下，随着激光功率密度的增加，激光损伤层的深度逐渐加深。此外，激光辐照时，将衬底适当加温可以有效地防止样品在辐照时破碎。

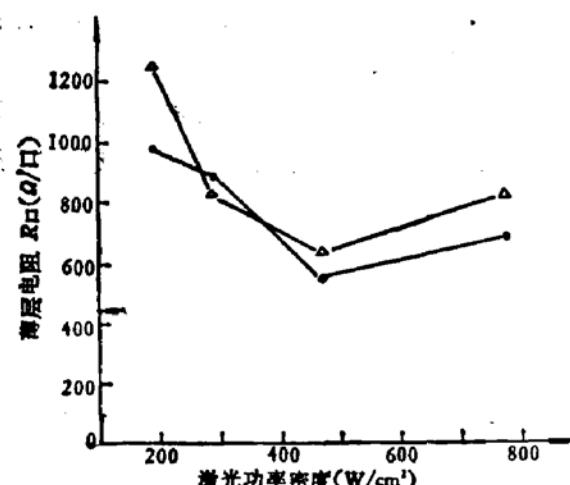


图 4 激光退火样品方块电阻 $R\Box$ 随激光功率密度的变化
— 热退火 ○ 背面辐照 △ 正面辐照

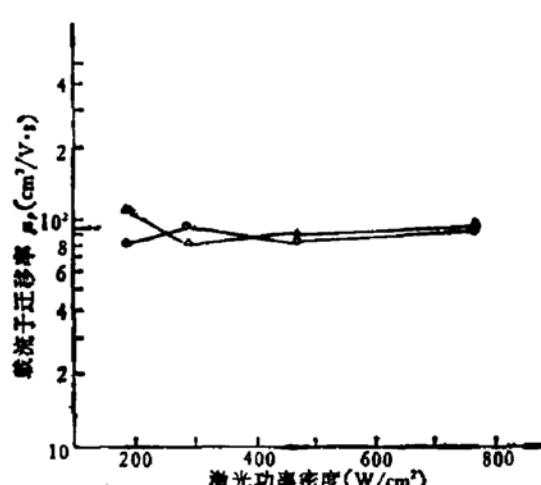


图 5 激光退火样品载流子迁移率 μ 随功率密度的变化
— 热退火 ○ 背面辐照 △ 正面辐照

为了观察激光引入的位错在热处理中的行为，对激光辐照后的样品做了热退火实验。在1100℃下氮气中退火60分钟，激光引入的位错既没有因退火消失，也没有明显的向体内推移，这说明激光引入的位错作为吸杂源是稳定的，不会穿透到未被损伤的制管区。

在上述实验的基础上，可以设想，一次激光辐照在样品背面引入损伤用以吸杂，同时对正面的离子注入层进行激光退火。为此，对〈100〉取向的注B⁺硅片从背面进行激光照射，激光功率密度从180 W/cm²到770 W/cm²，样品置于硅衬底上，衬底温度为220℃。图4和图5分别是硼离子注入层的方块电阻R_□和载流子迁移率μ_s随激光功率密度的变化。图中同时给出了注B⁺硅片正表面激光退火和热退火(1000℃，30分钟)条件下的方块电阻R_□和载流子迁移率μ_s的数据。可以看到，激光照射背面和正表面一样，退火后的样品都具有良好的电性。功率密度470 W/cm²附近可以获得最好的电学特性。图6是用470 W/cm²功率密度激光辐照背表面样品经解理-腐蚀后的剖面照片。虽然靠近样品正面部分的解理面不够平坦，但是还是可以清楚地看到激光损伤穿透了样品厚度的二分之一。近正表面的解理面和样品的正表面上都没有观察到激光引起的损伤。

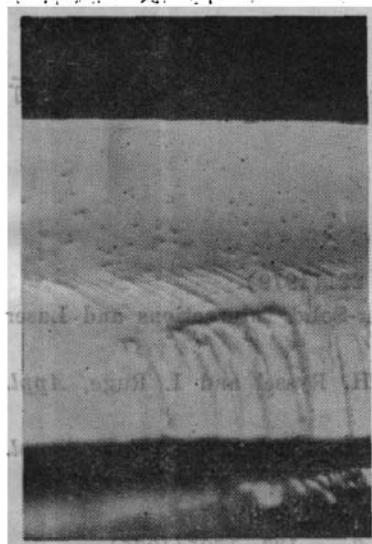


图6 背面激光退火后注B⁺硅片的剖面图

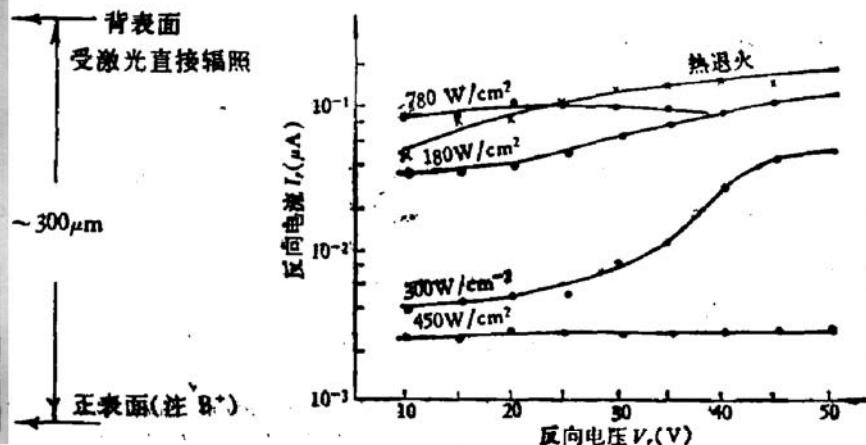


图7 背面激光退火样品制成的p-n结反向特性

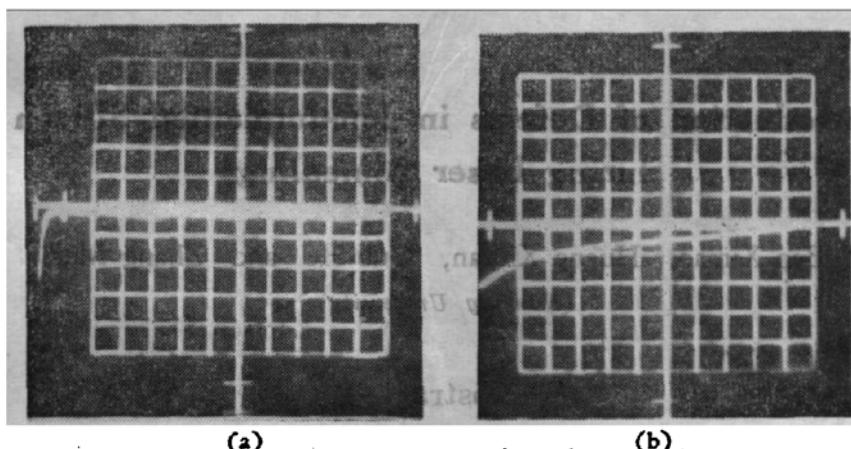


图8 p-n结反向特性
(a) 激光退火 (b) 热退火
纵坐标0.01毫安/格 横坐标20伏/格

最后，利用平面工艺把经过背面激光退火的注B⁺硅片制成p-n结合面管芯。结面积

为 1 mm^2 。图 7 是不同的激光功率密度照射下获得的 p-n 结的反向特性。在 450 W/cm^2 功率密度时获得的 p-n 结的反向漏电流最小，和图 4 给出的 470 W/cm^2 最佳退火功率密度基本上是一致的。图 8 是在 JT-1 图示仪上显示的激光退火和热退火后的 p-n 结的反向特性曲线照片。可以看出，和热退火相比，激光退火的 p-n 结反向特性是良好的，好的结特性说明了两点，第一点是用上述方法对离子注入层退火的效果是良好的，第二点是，同时引入的辐照损伤虽然还没有开始起吸杂作用（因为只有在继后的热处理过程中，它们才能起到吸杂作用），但是这些损伤并没有损害注入区的器件特性。

结 论

适当控制激光功率密度和选择衬底材料，在样品背面进行激光照射，可以对正表面离子注入层实现退火，同时在背表面层引进缺陷可作为非本征吸杂源。这种由激光导生缺陷的方法既可克服喷砂等吸杂方法易引起样品沾污的缺点，又可避免如磷扩散等吸杂方法的高温过程。

实验是在南京大学半导体平面工艺实验室全体同志和朱兵同志的大力协助下进行的，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Z. L. Liau, B. Y. Tsaur and J. W. Mayer, *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 221(1979).
- [2] G. A. Rozgonyi, H. J. Leamy, T. T. Sheng and G. K. Celler, *Laser-Solid Interactions and Laser Processing*, AIP Conference Proceedings Series, 457(1978).
- [3] S. C. Tsou, P. H. Tsien, M. Takai, D. Röschenthaler, M. Ramin, H. Ryssel and I. Ruge, *Appl. Phys.*, **23**, 163(1980).
- [4] M. Takai, P. H. Tsien, S. C. Tsou, D. Röschenthaler, M. Ramin, H. Ryssel and I. Ruge, *Appl. Phys.*, **22**, 129(1980).
- [5] C. W. Pearce and V. J. Zaleckas, *J. Electrochem. Soc.*, **126**, 1436(1979).
- [6] G. A. Rozgonyi, P. M. Petroff and M. H. Read, *J. Electrochem. Soc.*, **122**, 1725(1975).
- [7] K. Nagasawa, Y. Matsushita and S. Kishino, *Appl. Phys. Lett.*, **37**, 622(1980).

Introduction of Defects in Ion-Implanted Silicon during Laser Annealing

Bao Ximao, Huang Xinfan, Guo He and Zhang Mei
(Nanjing University)

Abstract

A CW CO₂ laser is used to irradiate boron ion-implanted silicon wafers from the back surface and a large amount of lattice damage is induced in the silicon wafer in the back surface layer, as layer annealing is performed in the implanted sample. The damage could act as effective extrinsic getters for detrimental impurities.