第 18 卷第 9 期　　半 导 体 学 报　　Vol. 18, No. 9
1997 年 9 月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Sep., 1997

一种新的 SOI 制备技术：H^+离子注入、键合和分离

竺士炀[1]　张　苗[2]　林成鲁[2]　黄宜平[1]　吴东平[1]　李金华[3]

(1 复旦大学电子工程系　上海　200433)
(2 中国科学院上海冶金研究所信息功能材料国家重点实验室　上海　200050)
(3 江苏石油化工学院　常州　213016)

摘要　H^+离子注入 Si 片并经一定条件退火，可在 Si 片中形成埋层微空腔(microcavity)层，结合 Si 片键合技术，用智能剥离(Smart-cut)技术成功地制备了 Unibond-SOI 材料，并用扩展电阻(SRP)、卢瑟福背散射(RBS/C)和剖面透射电子显微镜(XTEM)等初步分析了其结构和电学性质.

PACC：7340T，6170T，8140E

1　引言

SOI(Silicon-On-Insulator)技术由于其突出的优点，在深亚微米 ULSI、低压低功耗电路和军用抗辐照电路等方面具有重要的应用. 在目前众多的 SOI 制备技术中，注氧隔离的 SIMOX(Separation by Implanted Oxygen)技术和键合加背面减薄的 BESOI(Bonding and Etchback SOI)技术是主导技术，但 SIMOX 技术需要注 O^+专用注入机进行高剂量的 O^+离子注入和长时间的高温退火(≥1300℃)，价格昂贵，而顶层 Si 膜和埋层 SiO_2 的质量尚不如体单晶 Si 和热生长 SiO_2；BESOI 技术的背面均匀减薄是一个困难的工艺，顶层 Si 膜厚度 1μm 以下的均匀减薄将使工艺复杂化并影响其质量[1]. 利用 H^+或 He^+离子注入 Si 片后，在一定退火条件下形成埋层微空腔或使 Si 片表面部分剥离的现象，M. Bruel 等提出的 Smart-cut 技术[2,3]具有 SIMOX 和 BESOI 技术的优点而克服了两者的不足，是一种较为理想的 SOI 制备技术. 本文用 Smart-cut 技术成功地研制了 Unibond-SOI 材料，并对其结构和电学性质进行了初步分析.

2　Smart-cut 技术原理[2,3]

图 1 给出了 Smart-cut 技术制备 Unibond-SOI 材料的示意图，共分 4 步：

竺士炀　男，1969 年生，博士，主要研究方向为 SOI 材料制备、质量表征、器件工艺和辐照效应等
1996 年 6 月 10 日收到初稿，1996 年 11 月 22 日收到修改稿

步骤 1：Si 片 A(光片或表面有 SiO_2)的 H^+离子注入，剂量 $2\times10^{16}\sim1\times10^{17}cm^{-2}$；

步骤 2：Si 片 A 和 Si 片 B(光片或表面有 SiO_2)低温键合；

步骤 3：键合片热处理(400～600℃)，使 Si 片 A 在 H 原子分布峰值处分离(Smart-cut)，其中一薄层单晶 Si 同 Si 片 B 键合形成 SOI 结构(Unibond-SOI)，Si 片 A 可再次使用；

步骤 4：高温退火(+抛光)，对 Unibond-SOI 高温退火(≥900℃)，增强键合强度和恢复顶层 Si 中由于 H^+离子注入引起的损伤，为改进表面均匀性，可用化学机械抛光(CMP).

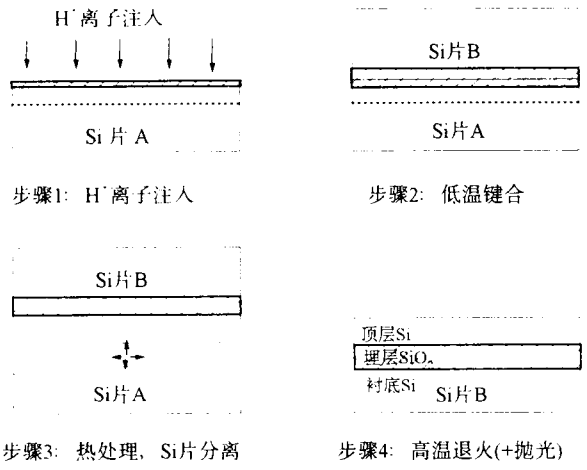

图 1　用 Smart-cut 技术制备 Unibond-SOI 的原理示意图

从上面的步骤可以得出 Smart-cut 技术如下优点：

(1) H^+离子注入剂量为 $10^{16}cm^{-2}$量级，比 SIMOX 下降约 2 个数量级，可在普通离子注入机上完成；

(2) 顶层 Si 厚度可由注入能量控制，而且均匀性好，解决了 BESOI 的背面均匀减薄难点；

(3) 埋层是高质量的热 SiO_2，Si/SiO_2 界面质量好；

(4) 一片 Si 片制备一片 SOI 片，材料成本比 BESOI 少一半.

3　实验

电阻率为 20～35Ω·cm，厚度为 350±10μm 的 P 型(100)Φ75mm 器件级 CZ Si 片，经清洗后在室温下注入能量为 140keV，剂量为 $5\times10^{16}cm^{-2}$的 H^+离子. 另一片为电阻率为 5～8Ω·cm 的 N 型(100)器件级 CZ Si 片，表面热生长 0.5μm 的 SiO_2，作亲水处理后，在超净线上作低温直接键合(键合温度约为 300℃，10 小时)，键合对用红外影像仪检测后，在 600℃左右的高纯 N_2 中热处理，使键合对分离形成 SOI 结构，然后在高纯 N_2 中 900℃退火 30min. 样品分成小片作各种测试.

4　结果与讨论

4.1　H^+离子注入并退火在 Si 中形成埋层微空腔层

图 2(a)(见图版 I)给出了 Si 中埋层微空腔层的光学显微镜照片(放大 250 倍)，样品是 170keV，$5\times10^{16}cm^{-2}$的 H^+离子室温下注入到表面有 0.5μm SiO_2 的 N 型(100)Si 片，在高纯 N_2 气中 400℃退火 210min，样品表面磨成约 0.01 弧度的斜面. 由图可见在表面下约 1.5μm 处存在埋层微空腔层，TRIM94 计算得出 170keV H^+注入 SiO_2/Si 样品的平均投影射程约为 1.5μm，因此是在 H 原子分布的峰值处形成了微空腔层，当退火温度升高或退火

时间延长时，微空腔向表面伸延，可使部分 Si 片表面剥离，图 2(b)(见图版 I)为样品经 900℃退火 15min 后的表面光学显微镜照片(放大 250 倍)，可见表面有不规则分布的基本成方型的 Si 片剥离，其长度约为 100μm 量级，用 α-Step 200 台阶仪测得其台阶深度为 1.5μm，同埋层微空腔层的深度相符. 图 3 为 400℃退火样品的扩展电阻深度分布，由于 H^+ 离子注入，使样品顶层的扩展电阻值减小，在埋层微空腔处扩展电阻有一个极小值，这可能是由于注入引起的缺陷参与导电而使电阻率下降[4,5].

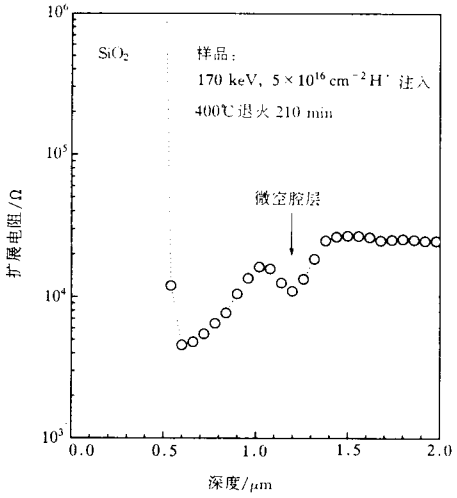

图 3 经 400℃，210min 退火样品的扩展电阻深度分布

4.2 Unibond-SOI 材料特性

图 4(a)是剥离后形成 SOI 结构(高温退火前)样品的 XTEM 照片，(b)为顶层 Si 的选区电子衍射图(见图版 I). 140keV 的 H^+ 离子注入 Si 的平均投影射程为 1.19μm，同图中所示顶层 Si 的厚度相符. XTEM 照片表明样品具有很好的 Si/SiO_2 界面，而且顶层 Si 中没有可观察到的缺陷，虽然未经抛光，表面起伏在 20nm 以下. 但由于 H^+ 离子注入引起的损伤使顶层 Si 的电子衍射图出现微弱的多晶环[6]，进一步的高温退火可使其单晶性得到改善. 图 5(见图版 I)给出的样品高温退火前后的卢瑟福背散射沟道谱证实了这一点，高温退火前顶层 Si 的背散射沟道最低产额 $\chi_{min}=24\%$，经 900℃半小时退火，χ_{min} 下降到 8%，表明退火已基本恢复了 H^+ 离子注入引起的损伤.

图 6(见图版 I)是 Unibond-SOI 材料的扩展电阻深度分布，具有陡峭的 Si/SiO_2 界面，内插图为被剥离 Si 片(Si 片 A)的扩展电阻深度分布，电阻值基本不变，因此 Si 片 A 可以再次利用，SOI 样品的顶层 Si 的扩展电阻比 Si 片 A 低，说明 H^+ 注入引入的缺陷使 Si 的电阻率下降，这同图 3 的结果相符.

4 结论

用 Smart-cut 技术可以制备高质量的 SOI 材料，具有缺陷少、顶层 Si 厚度均匀、Si/SiO_2 界面好等优点，并且可以在标准集成电路工艺的常规设备上制备，因此是一种有前途的 SOI 制备技术. 本文仅给出了初步的结果，关于 Si 中 H 的行为、微空腔的形成机理、对顶层 Si 的影响和如何提高低温键合质量等许多问题，正在进一步研究中.

参 考 文 献

[1] A. J. Auberton-Herve, J. M. Lamure, T. Barge, *et al.*, Semicond. Int., 1996: 97～104.

[2] M. Bruel, Electron. Lett., 1995, **13**(14): 1201～1202.

[3] C. Maleville, B. Aspar, T. Poumeyrol *et al.*, Proc. of 7th Inter. Symp. on Silicon-On-Insulator Technology and Devices, Ed. by P. L. F. Hemment, The Electrochemical Society, 1996, 96-**3**: 34～46.

[4] C. H. Seager, S. M. Myers, R. A. Anderson *et al.*, Phys. Rev., B, 1994, **50**(4): 2458～2473.

[5] Joachim Hartung and J. Weber, Phys. Rev., B, 1993, **48**(19): 14161～14166.
[6] J. Keinonen, M. Hautala, E. Rauhala *et al.*, Phys. Rev., B, 1988, **37**(4): 8269～8276.

Novel SOI Technology: H^+ Implantation, Bonding and Separation

Zhu Shiyang[1], Zhang Miao[2], Lin Chenglu[2], Huang Yiping[1],
Wu Dongping[1] and Li Jinhua[3]

(1 *Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai* 200433)
(2 *State Key Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai* 200050)
(3 *Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou* 213016)

Received 10 June 1996, revised manuscript received 22 November 1996

Abstract The buried microcavity layer can be formed when silicon implanted with H^+ ion is annealed at suitable condition. With silicon wafer bonding technology, the Unibond-SOI materials have been successfully fabricated by Smart-cut process. The structural and electrical properties are preliminary analyzed by spreading resistance probe (SRP), Rutherford backscattering spectrometry and channeling (RBS/C) and cross-section transmission electron microscopy (XTEM).

PACC: 7340T, 6170T, 8140E