

自截止腐蚀制备 Si 平面薄膜中的 B 杂质分析

周斌¹, 黄耀东¹, 李忻², 孙骐¹, 车录锋², 沈军¹,
吴广明¹, 唐伟星¹, 熊斌², 王跃林²

(1. 同济大学波耳固体物理研究所, 上海 200092;

2. 上海冶金研究所传感器国家重点联合实验室, 上海 200050)

摘要:以重掺杂自截止腐蚀工艺制备的厚度为 3~4 μm 的自支撑 Si 平面薄膜已在 X 光激光和惯性约束聚变分解实验中得到应用。制备过程中, 重掺杂 B 杂质的引入会对获得的 Si 平面薄膜的应用带来影响。本工作研究采用次级离子质谱 (SIMS) 测量 Si 平面薄膜中 B 杂质的浓度分布, 结合在软 X 光波段下同步辐射直接测得的 Si 薄膜的透过率结果, 分析 B 等杂质对 Si 平面薄膜性能的影响。

关键词: Si 平面薄膜; 重掺杂; 自截止腐蚀; 杂质分布

中图分类号: O472

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2002)04/05-0364-03

Measurement on Concentration of Boron Impurity in Thin Silicon Foils Prepared by Heavy-doped Self-stop Etching Process

ZHOU Bin¹, HUANG Yao-dong¹, LI Xin², SUN Qi¹, CHE Lu-feng², SHEN Jun¹,
WU Guang-ming¹, TANG Wei-xing¹, XIONG Bin², WANG Yue-lin²

(1. Pohl Institute of Solid State Physics, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. State Key Laboratory of Transducer Technology,

Shanghai Institute of Metallurgy, Shanghai 200050, China)

Abstract: Thin silicon foils with thickness about 3 to 4 μm are prepared by semiconductor process combined with heavy-doped self-stop etching process. Boron impurity in thin silicon foils influences on the property of thin silicon foils. Secondary ion mass spectrometry is adopted to measured the distribution of boron impurity. Transmissivity of thin silicon foils is measured on Beijing synchrotron radiation facility by using the synchrotron X-ray beam with the wavelength from 12.0 to 21.0 nm.

Key words: thin silicon foil; heavy doped; self-stop etching process; distribution of impurity

自支撑 Si 平面薄膜是强激光实验和惯性约束聚变 (ICF) 分解实验中的重要光学元件: 作为类镍 Ag 的 13.9 nm 的 X 光激光的衰减

膜, 几微米厚的 Si 平面薄膜具有很好的衰减性能, 可望在短波长 X 光激光实验中作为衰减膜应用; 采用精密化分解实验研究驱动光束空间

收稿日期: 2001-08-25; 修回日期: 2001-10-25

基金项目: 国家“863”惯性约束聚变领域资助项目 (863-416-3-6.6; 863-416-3.4.7)

作者简介: 周斌 (1970—), 男, 浙江绍兴人, 副教授, 材料物理与化学专业

不均匀性对瑞利-泰勒流体力学不稳定性的影响,是 ICF 实验近期的重要工作, Si 平面薄膜是这一实验的应用靶型^[1~4]。

对 Si 平面薄膜制备工艺进行了研究,并获得不同厚度的自支撑 Si 平面薄膜^[5,6]。该工艺利用扩散 B 杂质的 Si 材料在特定腐蚀液中的腐蚀速率截止原理制备厚度可控的自支撑 Si 平面薄膜,这一工艺被称为“重掺杂自截止腐蚀”。B 杂质的引入对 Si 平面薄膜的应用带来问题, Si 在波长为 13~20 nm 范围内有较低的质量吸收系数 $\mu(\text{cm}^2/\text{g})$, 可用作相应波段的光学元件; 而 B 在此波长范围内的质量吸收系数相对较大。因此, Si 薄膜中的少量 B 或其它杂质可能对以 Si 薄膜为基础的光学元件的性能带来大的影响。明确重掺杂自截止腐蚀制备 Si 平面薄膜中的 B 杂质的含量和分布,对进一步修正使用在 X 光激光和 ICF 实验中的 Si 平面薄膜的应用有重要意义。

1 Si 平面薄膜的制备与测量

1.1 重掺杂自截止腐蚀工艺

以现代半导体技术结合重掺杂自截止腐蚀工艺对 Si 片进行定向腐蚀,获得自支撑 Si 平面薄膜。制备选用(100)面的 n 型 Si 片。先在 Si 片一面扩入重掺杂的 B 杂质,扩散深度即为所需 Si 薄膜的厚度;再在 Si 片的另一面做腐蚀窗口,后以 KOH 腐蚀液进行腐蚀,当腐蚀至含有 B 杂质的 Si 面时,腐蚀速率急剧降低;再经清洗和划片,至此获得自支撑 Si 平面薄膜。Si 平面薄膜制备流程图示于图 1。

1.2 B 杂质分布测量

采用次级离子质谱(SIMS)法测量 Si 平面薄膜中 B 杂质浓度的深度分布。SIMS 型号为: Cameca IMS6F, 真空度 6.65×10^{-8} Pa。

1.3 Si 薄膜透过率测量

利用北京同步辐射装置(BSRF)的 3B1 束线及反射率计靶室^[7,8]进行软 X 光波段 Si 平面薄膜透过率的直接标定,以分参数测量结合计算获得 Si 薄膜的理论透过率。

2 结果与讨论

获得的自支撑 Si 平面薄膜的厚度为 3~4 μm , 表面粗糙度为几十纳米^[5,6]。

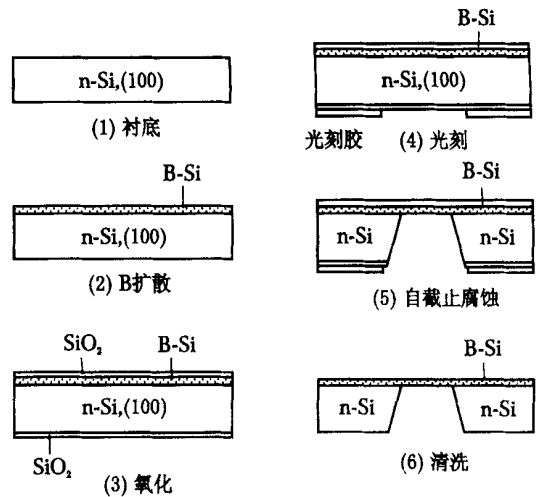


图 1 Si 平面薄膜的制备流程

Fig. 1 Preparation process of thin silicon foils

2.1 SIMS 测量

SIMS^[9]是分析材料组分的有效手段,它具有 10^{-6} 级的测量精度,结合 Ar 离子刻蚀,可进行组分深度分布测量。采用标准试样法获得组分的定量分布信息,即用已知浓度的样品测定次级离子的强度比,得到浓度对强度的工作曲线,以此指导未知浓度样品的测量。

在测量 Si 平面薄膜中 B 杂质的次级离子质谱时,采用离子注入法得到已知含 B 杂质浓度的 Si 作为标准试样,标样中最高 B 杂质浓度为 $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。图 2 是用 SIMS 测量获得的自截止腐蚀法制备的厚度为 3.26 μm 的 Si 平面薄膜中 B 杂质浓度随深度的分布。图 2 显示: Si 平面薄膜中,从表面到深度为 1.75 μm 附近, B 浓度为 $(2.8 \sim 6) \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 从 1.75 到 3.26 μm 间, B 浓度从 10^{19} 降至 10^{15} cm^{-3} 量级。

2.2 Si 平面薄膜透过率测量结果

Si 平面薄膜透过率测量采用波长扫描法。样品尺寸为 $\phi 3 \text{ mm} \times 3.15 \mu\text{m}$ 。测量波长范围为 12.0~21.0 nm。在同一波长下,测得无样品时的透射强度 I_0 和有样品时的透射强度 I ; 改变波长,测量 $I_0 \sim$ 和 $I \sim$ 间的变化关系; 计算透过率 $T = I/I_0$ 。图 3 是 Si 平面薄膜的同步辐射透过率测量结果。结果显示,在类镍 Ag X 光激光实验感兴趣的 13.9 nm 波长处,透过率的测量值为 0.378 %。

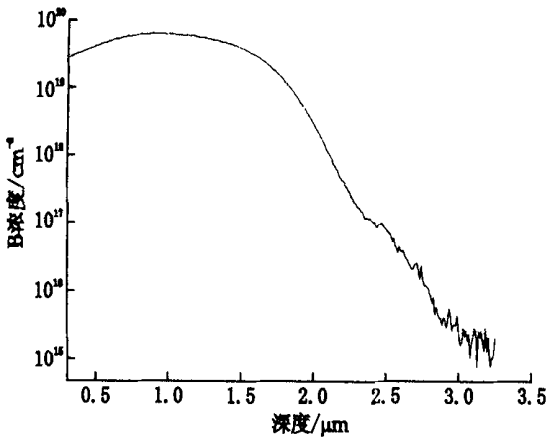


图2 Si平面薄膜中B杂质浓度的深度分布

Fig.2 Distribution of boron concentration in thin silicon foils measured by SIMS

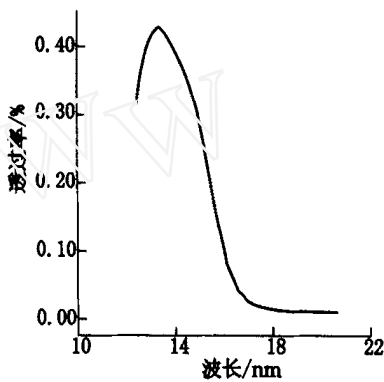


图3 同步辐射测量的Si平面薄膜的透过率

Fig.3 Transmissivity of thin silicon foils measured by synchrotron radiation

采用分参数测量计算的方法推导得到3.15 μm厚的Si平面薄膜的理论透过率 T 。计算公式为 $T = A \exp(-\mu d)$ 。式中: μ 为不同波长下Si的质量吸收系数,在13.97 nm处, $\mu = 7453.681152 \text{ cm}^2/\text{g}$; ρ 是Si的密度, $(\text{Si}) = 2.33 \text{ g}/\text{cm}^3$; d 为Si膜厚度; A 为吸收修正因子,它与Si膜表面的杂质与氧化等因素有关。

用上述公式计算得到Si膜在13.9 nm处的透过率为0.459%。计算未考虑Si膜中杂质等的影响,取系数 $A = 1$ 。在实际同步辐射测量中,B、O等杂质使膜的透过率降低。在13.9 nm处透过率的实测值低于理论计算值,

表明Si平面薄膜中的杂质对软X光波段的Si薄膜的光学性质有影响。

3 结论

Si薄膜透过率的直接测量与理论计算结果表明,Si平面薄膜中的重掺杂B杂质等对Si薄膜在软X光波段的光学性质带来影响。进一步的工作是更加精确地测定Si平面薄膜中的杂质及分布,并进行轻掺杂或本征Si平面薄膜的制备,以获得杂质含量少且杂质含量确切的Si平面薄膜。

参考文献:

- [1] Bradley DK, Delettretz JA, Verdon CP. Measurements of the Effect of Laser Beam Smoothing on Direct-drive Inertial-confinement-fusion Capsule Implosions[J]. Phys Rev Lett, 1992, 68(18): 2774~2777.
- [2] Desselberger M, Jones MW, Edwards J, et al. Use of X-ray Preheated Foam Layer to Reduced Beam Structure Imprint in Laser-driven Targets[J]. Phys Rev Lett, 1995, 74(15): 2961~2964.
- [3] Kalantar DH, da Silva LB, Glendinning SG, et al. Extreme Ultraviolet Probing of Laser Imprint in a Thin Foil Using an X-ray Laser Backlighter[J]. Rev Sci Instrum, 1997, 68(1): 802~805.
- [4] Kalantar DH, Key MH, da Silva LB, et al. Measurement of 0.35 μm Laser Imprint in a Thin Si Foil Using an X-ray Laser Backlighter [J]. Phys Rev Lett, 1996, 76(19): 3574~3577.
- [5] 周斌,韩明,徐平,等.驱动光束不均匀性研究中的硅平面薄膜[J].强激光与粒子束, 2000, 27(2): 181~184.
- [6] 周斌,王珏,韩明,等.激光印痕研究中的硅平面薄膜和刻蚀膜[J].原子能科学技术, 2001, 35(4): 300~304.
- [7] 崔明启,崔聪悟,黎刚,等.北京同步辐射3B1束线软X射线光源及探测器灵敏度标定[J].核电子学与探测技术, 1997, 17(4): 265~268.
- [8] 崔聪悟,崔明启.软X射线对光强测量系统的物理设计[J].核电子学与探测技术, 1997, 17(5): 358~360.
- [9] 史保华.材料微分析技术概论[M].西安:西安电子科技大学出版社, 1996. 139~146.