

赤燐高ドーブ CZ-Si 結晶における Si-P 析出物の構造解析

Atomic structures of grown-in Si-P precipitates in red-phosphorus heavily doped CZ-Si crystals

グローバルウェーハズ・ジャパン [○]仙田剛士、石川高志、藤森洋行、松村尚、成松真吾、安部吉亮、堀川智之

GlobalWafers Japan, [○]Takeshi Senda, Takashi Ishikawa, Hiroyuki Fujimori, Hisashi Matsumura, Shingo Narimatsu,

Yoshiaki Abe, and Tomoyuki Horikawa

E-mail: senda@sas-globalwafers.co.jp

1. はじめに

先端低耐圧パワーMOS デバイスにおいて、用いられるシリコン(Si)エピタキシャルウェーハ用 Czochralski (CZ) - Si 基板の電気抵抗率は、 $1 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下が求められている。この際に、Si 結晶に高濃度に添加されるドーパントは、赤燐(P)が一般的である。一方 Si 結晶において、ドーパント濃度増加に伴い、熱処理後の酸素(O)析出物密度とサイズが変化することが知られており、赤燐結晶でも同様の報告がなされている。本研究では、赤燐ドーブ結晶の析出熱処理後の酸素析出核となる欠陥を見出すため、抵抗率 $1 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下の赤燐高ドーブ、および CZ-Si 引き上げ後の結晶欠陥を解析した。

2. 実験方法

CZ 法により、直径 200mm、および結晶面方位(001)の赤燐高ドーブ Si 結晶の引き上げをおこなった。本結晶をスライスおよび鏡面加工をおこない、厚さ $725 \mu\text{m}$ の Si 基板を作成した。結晶の P 濃度、および O 濃度は、それぞれ $8 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 、および $9 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ であった。前者は、4 探針法で得られた抵抗率 $0.87 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ を、アービンカーブを用いて濃度に変換した。

本基板の任意のバルク部を、transmission electron microscopy (TEM) 観察をおこなった。観察位置は基板中央付近とした。観察用サンプル加工は、研削およびイオンミリング法を用いた。TEM 観察時の電子線入射方位は、Si [110]とした。観察された欠陥に対して、Scanning TEM (STEM)、および energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) により、元素同定および格子像観察をおこなった。

3. 結果および議論

断面 TEM 観察の結果、板状欠陥が約 $6 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ の密度で観察された。その平均および最大サイズは、それぞれ約 110 nm および 200 nm であった(Fig. 1)。同欠陥の STEM-EDX 分析の結果、最大 4 atomic% (約 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$) の P が含有されており、P および Si 以外の元素は検出下限(約 1 atomic%以下)であった。一方、格子像観察の結果、明確な転位は観察されなかった。

Si-P 系相図から、 $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 前後の P 濃度は、約 600°C 前後が Si 結晶中での固溶限界濃度と推定され、また同温度以下では、Si および SiP の 2 つの相を取ることが報告されている[1]。

本研究で観察された赤燐高ドーブ CZ - Si 結晶中の欠陥(Si-P 析出物)は、結晶引き上げ冷却過程において、非常に微小な領域で相転移することで形成されたことが示唆される。その結晶性や P 存在位置など、詳細調査が重要となる。

参考文献

[1] S. Liang and R. Schmid-Fetzer: Journal of Phase Equilibria and Diffusion 35 No. 1 (2014) 24.

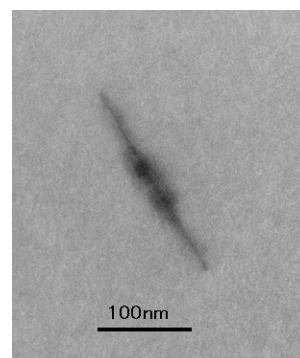


Fig. 1 Grown-in defect in red-phosphorus heavily doped CZ-Si crystals observed by cross sectional TEM