

シリコン結晶中の炭素濃度測定之感度と規格適用濃度と検出下限

Sensitivity and detection limit of carbon concentration measurement in silicon crystal

東京農工大¹, 大阪府大², °井上直久^{1,2}

°Tokyo U. Agr. & Tech.¹, Osaka Pref. U.², °N. Inoue^{1,2}

E-mail: inouen@riast.osakafu-u.ac.jp

初めに

不純物濃度測定課題は常に感度と精度である。赤外吸収は主にバルク単結晶の、SIMS はエピタキシャル薄膜の、放射化分析は原料多結晶の、それぞれ代表的な方法として使われている。技術開発における感度、測定法規格における推奨適用濃度範囲、検出下限について動向を検討する。

感度

技術開発における当面の到達点を感度と呼ぶことにする。赤外吸収では不純物を含む複合体の形で $1\text{E}+12\text{cm}^{-3}$ に達しており[1]、置換型炭素では差濃度 $1\text{E}+13\text{cm}^{-3}$ と全濃度 $1\text{E}+14\text{cm}^{-3}$ を報告している[2]。SIMS と放射化分析は 90 年代半ばに $2\text{E}+14\text{cm}^{-3}$ 前後まで報告され、現在再確認されている[3]。赤外吸収法では人工参照試料を用いる第二世代法により **$1\text{E}+13\text{cm}^{-3}$** は近い目標である。

測定法規格における推奨適用濃度範囲

不純物濃度測定は生産現場では規格に従って行われ、取引の基になる仕様を保証する重要な行為である。世界規格においては酸素・炭素・窒素共に「推奨適用濃度範囲(useful range --- measurable ---)」が定義され、我国からの提案[4]により 1989 年に改正された 30 年前から現行の赤外 SEMI 規格[5]はこの部分のみ独自性を発揮して $5\text{E}+15\text{cm}^{-3}$ となっているが根拠は示されていない。SIMS と放射化分析には規格がない。最近の結晶製造、デバイス応用および測定法研究に基づけば必要性も可能性も「**赤外・SIMS・放射化で推奨適用濃度範囲 $1\text{E}+14\text{cm}^{-3}$** 」が適当と考えられる。

検出下限

これに対して、赤外・SIMS・放射化の当事者でない機関により「検出下限 (英訳 detection limit)」が議論されている。この言葉は電子協の規格化委員会が解散の直前に駆け込みで SEMI 規格の翻訳により JEIDA 規格を 1997 年に作った[6]際に、この部分だけ委員長の専断で「推奨濃度範囲」から「**検出限度**」およびその数値として $2\text{E}+15\text{cm}^{-3}$ へと根拠の明示無しに差し換えたことに派生していると思われるが言葉が異なる。当事者の研究者・技術者も SEMI 規格でも使わず定義されていない 20 年前の言葉である。赤外吸収については 2010 年前後から議論されている[7]。また SIMS や放射化分析については当該規格がないので範囲を逸脱しているが、2014 年頃から使われている[8]。

[1] N. Inoue et. al. physica status solidi (c)9(2012)1931. [2] 渡邊他 応物学会 2015 年秋 13p-1E-1. [3] 清井他 応物学会 2014 年春 19p-F9-14. [4] N. Inoue et. al. ASTM Proc. STP960, p. 365 (1987). [5] SEMI MF1391. [6] JEITA EM3503. [7] 中川・鹿島・田島 応物学会 2010 年秋 16a-ZT-5 など. [8] S. Nakagawa et al. EMRS2014 Symp. X, Proc. Vol. 11(11-12) p.1597. 中川 応用物理 84(2015)976 など.