

## 放射光 XRD を用いた MOCVD GeSn 膜の成長時間依存に関する評価 Detail Evaluations of the Time Dependence of MOCVD-GeSn Growth using Synchrotron XRD Measurements

須田 耕平<sup>a</sup>, 広沢 一郎<sup>b</sup>, 武内 一真<sup>a</sup>, 日比野 祐介<sup>a</sup>, 肥山 卓也<sup>a</sup>, 小椋 厚志<sup>a</sup>  
Kohei Suda<sup>a</sup>, Ichiro Hirosawa<sup>b</sup>, Kazuma Takeuchi<sup>a</sup>, Yusuke Hibino<sup>a</sup>, Takuya Hiyama<sup>a</sup>, Atsushi Ogura<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 明治大学, <sup>b</sup> (公財) 高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Meiji University, <sup>b</sup>JASRI

本課題では、安全性および量産性に優れる MOCVD 法で作製した GeSn 膜の成長過程における変化を、XRD 法の  $2\theta$  測定を用いた深さ方向分析により評価した。測定の結果、GeSn 膜の表面付近で Sn 濃度 9% の領域が存在することが明らかになり、MOCVD 法によっても高 Sn 濃度 GeSn 膜の作製が可能であることが示唆された。

キーワード： GeSn 膜、エピタキシャル成長、XRD 法

### 背景と研究目的：

GeSn 膜は、Sn 濃度に依存した様々な特性を有する。例えば、Sn 濃度 3% の GeSn 膜は、Ge よりも 20% 高い正孔移動度を有するため、電子デバイス材料としての使用が期待される[1]。また、Sn 濃度 10% の GeSn 膜は、直接遷移型のバンド構造を有するため、発光デバイス材料としての使用も期待される[2]。しかしながら、GeSn 膜の作製手法は MBE 法が主流であり、MOCVD 法での知見は乏しい。MOCVD 法は現在の ULSI 作製に多用されており、また、我々が新しく提案した原料は自然発火性や爆発性がないため、本技術は GeSn 膜を用いた ULSI の量産において有益な産業基盤技術になると考えている[3]。

本課題の利用目的は、安全性及び量産性に優れる MOCVD 法における GeSn 膜の成長メカニズムを解明することである。特に、MOCVD 法で作製した GeSn 膜の成長過程における変化を、XRD 法を用いた深さ方向分析により評価した。

### 実験方法：

試料は、Ge 基板の上にエピタキシャル成長させた Sb ドープ GeSn 膜である。実験方法は、XRD 法による  $2\theta$  測定を採用した。使用装置は、BL19B2 に設置された多軸回折装置を使用した。測定条件は、エネルギーを 10 keV とし、入射スリットは幅 0.5 mm、高さ 0.2 mm とした。

### 結果と考察：

Fig. 1 は、 $2\theta$  測定により得た GeSn 膜の 004 回折プロファイルとラウエ関数によるフィッティング結果である。測定の際には、サテライトピークを明瞭に得るために X 線照射時間を 20 秒とした。GeSn 膜の深さ方向の変化を評価するために、測定により得た 004 回折プロファイルに対しラウエ関数によるフィッティングを行った。今回は、GeSn 膜を深さ方向に 7 層に分割し、計算値が測定データを再現するように各層の格子面間隔を最適化した。なお、計算では GeSn 膜の散乱、基板界面からの crystal truncation rod、膜の表面と界面の roughness を考慮した。また、Fig. 2 は、最適化した格子面間隔に対し、格子置換 Sn 濃度を Vegards 則により導出した結果である。なお、以上の解析の詳細については、共同実験者の広沢一郎氏が 2016 年応用物理学会秋季学術講演会にて報告した [4]。

Fig. 2 より、GeSn 膜の表面付近では Sn 濃度 9% の領域が存在することが明らかになり、MOCVD 法によっても高 Sn 濃度 GeSn 膜の作製が可能であることが示唆されたと考えられる。本結果は、膜内に取り込まれた Sn 原子と、析出した Sn 原子との判別が不可能な SIMS 測定だけでは得られなかった新しい知見である。表面付近で高 Sn 濃度化した要因の一つとしては、最表面に存在する可能性が高い Sn 析出の影響が考えられる。GeSn 膜内に取り込むことができなかった Sn 原子が

Sn 析出となる一方で、Sn 析出から GeSn 膜内に取り込まれる Sn 原子も存在し、その結果として表面付近で Sn 濃度が高くなったと考えている。

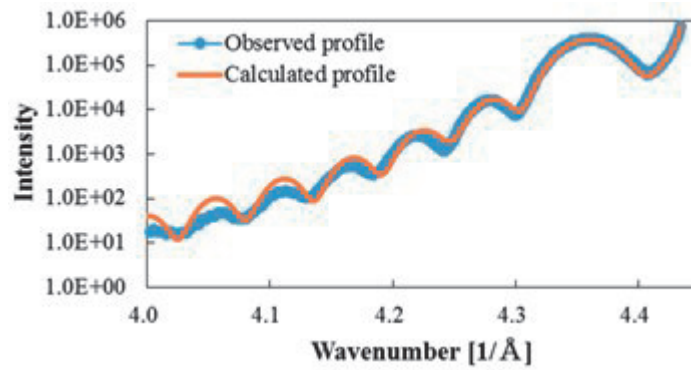


Fig. 1 GeSn 膜の 004 回折プロファイルとラウエ関数によるフィッティング結果

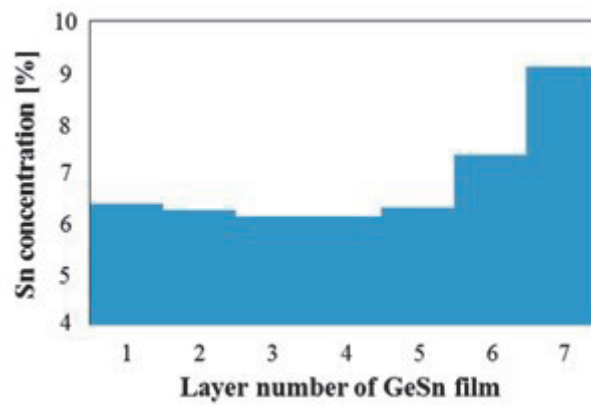


Fig. 2 GeSn 膜の格子置換 Sn 濃度の深さ方向変化

参考文献：

- [1] S. Gupta et al, *IEDM Tech. Dig.*, **2011**, 16.6.1 (2011).
- [2] V. R. D'Costa et al., *Phys. Rev. B* **73**, 125207 (2006).
- [3] K. Suda et al., *ECS Trans.* **64** (6), 697 (2014).
- [4] 広沢ら, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-D61-6 (2016).