ラマン分光法による多結晶シリコン粒内のナノ構造が及ぼす熱伝導特性評価 Evaluation of Thermal Properties for Nanostructures in Polycrystalline Silicon Grains by Raman Spectroscopy

◎竹内 悠希<sup>1</sup>、横川 凌<sup>1,2</sup>、高橋 和也<sup>3</sup>、小森 克彦<sup>3</sup>、森本 保<sup>3</sup>、澤本 直美<sup>1</sup>、小椋 厚志<sup>1</sup>
(明治大理工<sup>1</sup>、学振特別研究員 DC<sup>2</sup>、東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ(株)<sup>3</sup>)
<sup></sup><sup>0</sup>H. Takeuchi<sup>1</sup>, R. Yokogawa<sup>1,2</sup>, K. Takahashi<sup>3</sup>, K. Komori<sup>3</sup>, T. Morimoto<sup>3</sup>,

N. Sawamoto<sup>1</sup> and A. Ogura<sup>1</sup>

## (Meiji Univ.<sup>1</sup>, JSPS Research Fellow DC<sup>2</sup>, Tokyo Electron Technology Solutions Ltd<sup>3</sup>) E-mail: <u>ee51046@meiji.ac.jp</u>

**背景と目的**:多結晶シリコン(poly-Si)薄膜は、 大面積薄膜トランジスタ(TFT)用基板などの応 用を念頭に盛んに研究が行われている。また近 年、熱電デバイス応用にも期待され、シリコン ナノ結晶を積極的に利用することでフォノン 散乱を意図的に引き起こし、バルク Si と同等 の移動度を維持したまま低熱伝導率を達成し た報告がある[1]。これまで poly-Si 薄膜におけ る熱伝導率低下は、結晶粒界におけるフォノン 散乱によって説明されてきた[2]。我々は以前 poly-Si は固相成長時、粒内にナノ構造を生じ ることを確認し、これらナノ構造はフォノンの 散乱体になり得ると考えられる。本研究では、 粒内のナノ構造に着目し、熱輸送に与える影響 をラマン分光法を用いて評価を行った。

**実験方法**: 試料は Si 基板上に 100 nm の SiO<sub>2</sub> 膜を形成後、150 nm のアモルファスシリコン (a-Si)を LPCVD で堆積した(堆積条件: 510 ℃、 1.5 Torr, SiH4)。その後、Ar 雰囲気中で熱処理を 行い、poly-Si 薄膜を作製した。熱処理条件はそ れぞれ 700 ℃,1000 ℃,700 ℃+1000 ℃ とし、 熱処理時間は各 2 hour とした。ラマン分光測 定では、励起光源の波長、分光器の焦点距離に それぞれ 355 nm,2000 nm を用いた。レーザー パワーは可変 ND フィルターにより 1 から 10 mW、1 mW 刻みで変化させ、各試料に対し 5 点ラマンスペクトル測定を行い poly-Si 粒内の ナノ構造の熱伝導特性を評価した。

<u>結果および考察</u>: Fig.1には各試料に対するラ マンシフトのレーザーパワー依存性を示す。レ ーザーパワーの増加に伴いラマンピークが低 波数側にシフトしていることが確認された。こ れらのラマンスペクトルの振る舞いは、レーザ で励起された熱によって Si 結晶が熱膨張を起 こし、格子の振動数が低下したことによるもの だと考えられる。ラマンシフトを用いて算出し たレーザーパワーに対する poly-Si の温度変化 を Fig.2に示す。poly-Si の温度算出をする際、 以下に示すラマンシフトと温度の関係式を用いた[3]。

 $d\omega/dt = -0.024 \text{ cm}^{-1}/\text{K}$  (1)

700 ℃ および 700 ℃+1000 ℃ では、結晶粒径 は同程度で 1000 ℃ に比べて大きいのに対し て、結晶粒内のナノ構造は 700 ℃ で小さく 1000 ℃ および 700 ℃+1000 ℃ では拡大して いる。したがって、熱伝導に結晶粒径のみでは なく、粒内のナノ構造が影響し、ナノ構造の微 細化で熱伝導の抑制が可能であることが明ら かとなった。本研究により poly-Si 粒内のナノ 構造が熱伝導率低下に寄与することが初めて 明らかにされた。



Fig. 2 Laser power dependence of Raman shift.



Fig. 1 Temperature measurement in poly-Si thin film using Si Raman peak shift.

[1] Y. Nakamura, Sci. Technol. Adv. Mater. 19, 31 (2018).

[2] K. Valalaki, et al J. Phys. D: Appl. Phys. 49, 315104(2016).

[3] D. Fan, et al., Phys. Rev. B, 96, 115307 (2017).