ALD-Al_2O_3 膜の熱輸送特性

Thermal transport properties of ALD-Al_2O_3 film

東理大院 [1]，産総研 [2]，阪大院 [3]，○中島佑太 [1,2]，内田紀行 [2]，大石佑治 [3]，町田龍人 [1]，
藤代博記 [1]，服部淳一 [2]，福田浩一 [2]，前田辰郎 [1,2]
Tokyo University of Science[1], AIST[2], Osaka Univ.[3]
○Y. Nakajima[1,2], N. Uchida[2], Y. Ohishi[3], R. Machida[1], H. Fujishiro[1], J. Hattori[2], K. Fukuda[2], T. Maeda[1,2]
E-mail: yuta-nakajima@aist.go.jp

【はじめに】MOSFET の性能向上のため、Ge チャネルの導入や Fin-FET などの新構造トランジスタの研究が行われている[1]。しかし、Ge 等新材料の導入による熱物性の変化や、ナノ構造化に伴うフォノン散乱増大が、トランジスタの自己加熱の排熱を阻害する可能性があるため、我々は、熱輸送特性を正確に考慮したサーマルマネージメントが必要であると考えている。まずはじめに、自己加熱のエリアに近いゲートスタック構造において、Ge-MOSFET のゲート酸化膜等に用いられている酸化アルミニウム(Al_2O_3)の熱伝導率が、単結晶の熱伝導率(30 $Wm^{-1}K^{-1}$@RT)よりも大きく減少し、1.93 $Wm^{-1}K^{-1}$ になることを見出した[2]。そこで、本研究では、Al_2O_3 膜の熱伝導率の減少の起原を解析するため、膜中の音速を見積もりフォノン輸送の観点から考察する。

【実験方法】Ge 基板上に原子層堆積(ALD)法で Al_2O_3 層(10,20,30nm)を形成し、熱処理（350℃, 5min, N_2+H_2[3%]）を施した。X-Ray Reflectivity(XRR)測定から Al_2O_3 膜の密度を、Hysitron 社製 TriboScope を用いて弾性率を計測し、物質中の音速が弾性率と密度の比の平方根に比例するモデルを用いて結晶 Al_2O_3 中の音速に対する音速比を求めた。

【実験結果・考察】図 1 は、膜厚 10nm の ALD-Al_2O_3 膜の XRR スペクトルとシミュレーション結果で、膜密度は 3.02 g/cm^3 と見積もられ、表 1 に示すように、結晶 Al_2O_3 よりも小さい。ALD-Al_2O_3 の弾性率(136 GPa)は、結晶 Al_2O_3 (470GPa)の 29%、したがって、音速比は 0.62 と見積もることができる。Si や SiO_2 などアモルファス材料の熱伝導率を与える Cahill モデル[3]を使って単純に結晶 Al_2O_3 から算出すると、アモルファス Al_2O_3 膜の熱伝導率は 0.36 $Wm^{-1}K^{-1}$ になり、実測の 1.93 $Wm^{-1}K^{-1}$ とは合わない。これは、Al_2O_3 のイオン結合性が強くアモルファス化しにくいことから、ALD-Al_2O_3 膜中の原子間の短距離秩序が Cahill モデルの想定と異なるため、熱伝導率の低下が起こりにくいと考えられる。実際、NaCl などのイオン結合性の高い材料は、Cahill モデルによる計算結果よりも高い熱伝導率を示す傾向にある。

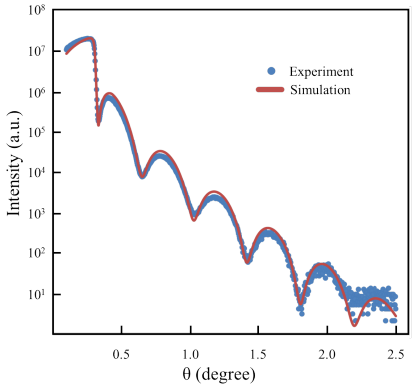

Fig. 1 XRR data and fitted model for 10-nm ALD-Al_2O_3 film on Ge substrate

Table. 1 Thermal transport parameters of ALD-Al_2O_3 film

	κ ($Wm^{-1}K^{-1}$)	ρ (g/cm^3)	E (GPa)	Sound velocity ratio
c-Al_2O_3	30	3.97	470	1
ALD-Al_2O_3	1.93	3.02	136	0.62

【参考文献】[1] W-H. Chang, et al., IEEE Electron Device Lett., 37, 253 (2016). [2] 中島佑太他、第 64 回応用物理学会春季学術講演会. [3] D. G. Cahill et al., Phys. Rev. B, 46 6131 (1992)

© 2018年 応用物理学会