

外部電場で制御する熱流スイッチング素子の作製

Heat flow switching devices operated with bias voltage

豊田工業大学, エネルギー材料研究室 ○(M1)松永卓也, (M1)平田圭佑, 松波雅治, 竹内恒博

Toyota Technological Institute, Takuya Matsunaga K. Hirata M. Matsunami T. Takeuchi

E-mail : sd18433@toyota-ti.ac.jp

緒言

本研究では熱流の大きさを外部電場で制御することが可能な熱流スイッチング素子を作製し, その評価を行った.

熱流の大きさは, 温度勾配が一定であれば, 物質の熱伝導度に比例する. 熱伝導度は一般的に, 伝導電子と格子振動の寄与で決まる. 格子振動の寄与を外的要因で変えることは難しい. 一方, MOSFET やコンデンサーのように外部電場を印加することで電子濃度を制御できるため電子熱伝導度は変えることができる. そこで, 絶縁層を挟み込むコンデンサー型の素子を作製し, 外部電場を印加することで熱伝導度の制御を試みた.

しかし, 一般的に半導体の格子熱伝導度は電子熱伝導度と比べ非常に大きいため電子熱伝導度の変化が顕著であっても観測することは難しい. 電子熱伝導度の変化を観測するためには格子熱伝導度が著しく小さい半導体を用いる必要がある. 本研究では, 格子熱伝導度が $0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [1]程度と非常に小さい半導体である非晶質 $\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$ を使用し, コンデンサー型熱流スイッチング素子を実験した.

実験方法

MBE(Molecular Beam Epitaxy)を用いて, 室温で非晶質 $\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$ をガラス基板上に成膜した. 試料の厚みを 40 nm と 200 nm にした2つの素子を作製した. XRD により試料が非晶質であることを確認した. また組成は SEM-EDX, 膜厚は AFM により確認した.

外部電場による熱流の変化は時間領域サーモフレクタンス法 (TDTR 法, Pico Therm 社 Pico TR)により評価した. 加熱用レーザーを吸収しやすく, 測温用レーザーへの反射率に顕著な温度依存性を示す Mo を試料表面に成膜して用いた. (図1)

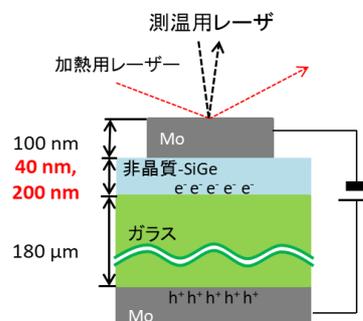


Fig.1 TDTR measurement with electrical field

実験結果

電場を印加して TDTR 測定を行ったところ電場を印加することにより熱の伝わりが明らかに速くなった. (図2) 試作した素子では, 最大で 50%の熱流の変化を観測した.

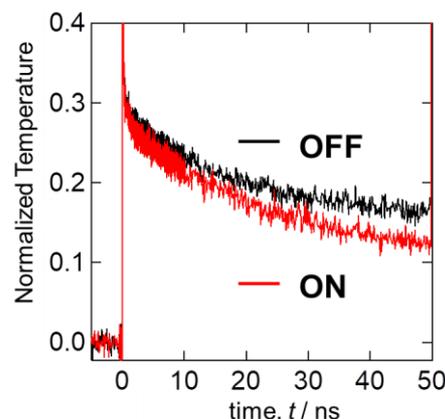


Fig.2 Time dependent surface temperature of sample with or without bias voltage

結言

電場によって熱流を制御することを目的に熱流スイッチング素子を実験した. 電場を印加することによって熱流の大きさを変えることに成功した. 熱流の変化量は十分ではないものの, この結果は我々の提案した熱流スイッチング機構が有効であることを示している.

参考文献

- 1) Nishino *et al.* Journal of Electronic Materials **47**, 3267-3272 (2018).