

バイアス電圧で動作する Ag₂S 系熱流スイッチング素子の開発

Development of thermal switching devices consisting of Ag₂S based semiconducting materials

豊田工業大学, ○(M1) 丸地智也, 平田圭佑, 松波 雅治, 竹内 恒博

Toyota Tech. Inst., ○Tomoya Maruchi, Keisuke Hirata, Masaharu Matsunami, Tsunehiro Takeuchi

E-mail: sd21439@toyota-ti.ac.jp

緒言

外場により素子内部の熱流を制御する熱流スイッチは、未利用熱を有効活用する「熱マネジメント」の基盤技術として注目されている。温度勾配が一定の条件下で、固体材料を流れる熱流束 J_Q は材料の熱伝導度 κ に比例する。一般的な導体材料における κ は、電子にと集団励起により決定される。様々な集団励起のうち、特にフォノンの寄与が大きいので、通常は、電子熱伝導度 κ_{el} と格子熱伝導度 κ_{lat} の和 ($\kappa = \kappa_{el} + \kappa_{lat}$) として表現される場合が多い。

熱流を制御するためには、 κ_{el} あるいは κ_{lat} を制御する手法が必要となるが、外場を用いて κ_{lat} を制御することは極めて困難である。一方で、電子濃度や電子散乱を用いて κ_{el} を制御することは可能であり、特に、半導体であれば、電場などによる電子濃度変化を利用することができる。しかし、 κ_{lat} が共存するために、一般的には κ_{el} の顕著な変化を観測することは難しい。我々は、 κ_{lat} が著しく小さな半導体材料を用いて κ_{el} を制御することが、熱流スイッチング素子の開発に必要であると考えた。

Ag₂S 系材料は $0.4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 程度の極めて低い格子熱伝導度で特徴づけられるとともに、 200°C 以下の低温域に構造相変態を示す。低温相も高温相も半導体であるが、キャリア濃度が変化するために、ステップ的な熱伝導度変化を示す。さらに、元素置換によりキャリア濃度や相変態温度を調整することが可能であり、熱スイッチの構成材料として適した特徴を有する希有な材料である^{1,2)}。

我々は、Ag₂S 系材料を用いた素子を作製し、バイアス電圧の印加に伴い、わずかながら熱伝導度の変化 (最大 20%) を観測できることを報告した^{2,3)}。本研究では同様の素子を作製し、さらに大きな熱伝導度変化を観測したことから、本講演にて、その詳細を報告する。

実験方法

熱流スイッチング素子は MBD によって作製した。相同定および構造解析は粉末 XRD にて行った。また、AFM により試料表面形状を、SEM-EDX および EPMA により組織観察と組成分析を行った。

熱伝導度測定や熱流スイッチング特性の解析には時間領域サーモフレクサンス法 (Pico Therm 社製 nano TR および picoTR) を用いた。

結果

作製した熱流スイッチング素子にバイアス電圧を印加した際の素子表面温度の時間依存性を図 1 に示す。バイアス電圧の印加に伴い、素子表面の冷却が電圧無印加時と比較して明らかに速くなっていることを確認した。詳細な実験結果、および、考察は、当日の講演にて報告する。

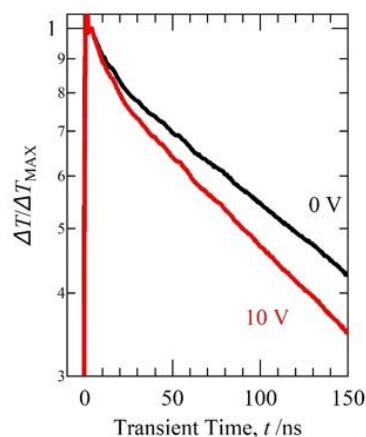


Fig. 1 Transient temperature curve of the surface of thermal switching device w/ and w/o bias voltage.

参考文献

- [1] K. Hirata *et al.*, J. Elec. Mater. **49**, 2895-2901 (2020).
- [2] T. Matsunaga *et al.*, Mat. Trans. **62**, 16-19(2021).
- [3] 丸地智也, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-z04-10(2020).