



研究課題名 多形メモリテクノロジーの創成

東北大学・大学院工学研究科・教授

すとう ゆうじ

須藤 祐司

研究課題番号： 21H05009

研究者番号： 80375196

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 147,500千円

キーワード： 相変態、多形転移、相変化メモリ、不揮発性メモリ

【研究の背景・目的】

IoTを介して人と物が繋がる事で様々な知識情報が共有されており、今後、その情報量は加速的に増加することは間違いない。それ故、情報を保管するメモリデバイスの革新が強く求められている。特に、メモリの大容量化と共に、動作の省エネルギー化や高速化が強く期待されており、既存Siテクノロジーを凌駕する次世代メモリデバイスの登場が待ち望まれている。ポストSiテクノロジーの一つに相変化メモリテクノロジーがある。一般的に、相変化メモリにはアモルファス(A)相と結晶(C)相間で可逆的かつ不揮発的に相変化が可能な相変化材料が用いられ、相変化による抵抗変化を利用して情報を記録・消去する。現在、Ge-Sb-Te化合物(GST)が相変化材料として実用されており、フラッシュメモリを凌駕するメモリ性能を実現している。その一方で、GSTには、相変化メモリテクノロジーの革新を阻む大きな三つの課題の克服が切望されている。即ち、(一)A相化のため融点(～630°C)以上の加熱が必要であり動作電力が高い、(二)結晶化温度が160°Cと低くA相の耐熱性に劣り、高温使用や更なる微細化が困難、(三)相変化による体積変化(6～7%)が大きくデバイスの超長寿命化が困難、といった課題である。つまり、相変化メモリテクノロジーではA相を利用することが常識であるものの、総じてA相への相変化こそが、その革新に対するボトルネックになっている。以上の背景の下、本研究ではA相を介さない新しいタイプの相変化材料として、結晶多形転移を生じる半導体化合物を提案し、その相転移メカニズムの解明や多形転移の外場応答制御に挑戦し、「多形メモリテクノロジー」といった新しい学理を開拓することを目的とする。

【研究の方法】

研究代表者らはこれまでに、MnTeが結晶多形転移により大きな電気抵抗変化を示し、かつ、そのメモリ素子においてジュール加熱により多形転移を可逆的かつ不揮発的(それぞれの多形を室温に凍結可能)に室温制御できることを世界で初めて見出した。注目すべきは、その転移は原子が連携的にズレることで生じる変位型相転移であることが分かった。以上の知見は、変位型相転移が不揮発的に制御できるメカニズムやその相転移はどのような外場に応答するのか、また、そういった多形転移制御は他の半導体物質でも可能なのか、といった新たな疑問を生む。本研究では、数値計算や理論計算、また、集積技術、光および磁性の専門家らと研究体制を構築し、上記課題に対して研究を進める。具体的には、MnTeをはじめとする結晶多形転移半導体について、(i)熱歪みによる多形転移挙

動(熱歪み応答)や各多形の電気物性の評価、(ii)三端子構造デバイスを用いた電界応答特性評価(電界応答)、(iii)時間分解光電子分光などを用いた光誘起多形転移挙動の測定(光応答)、(iv)各多形の磁気特性や磁場による多形転移誘起(磁場応答)といった外場応答制御を調査する。同時に、(v)放射光実験や第一原理計算を通して、各多形の電子状態や化学結合状態や各多形の相安定性を議論し、多形転移メカニズムを明らかにする。

【期待される成果と意義】

変位型相転移による多形変化を示すMnTeは、原子の大きな拡散を必要とするA/C相変化を示す従来型の相変化材料とは異なり、無拡散型のC/C相変化を示すため、これまでの相変化メモリ性能を凌駕する省エネルギー動作、高速動作、長寿命動作を実現する新メモリ：結晶多形メモリの創成が期待できる。また最近では、相変化メモリテクノロジーの次世代光デバイスに向けた研究も世界中で盛んになっているが、GSTをはじめとする従来相変化材料では、光励起によりA/C相変化を実現するのは難しい。それに対し、MnTeは無拡散型相変化を生じるため、光励起による多形変化を利用した超高速・超省エネルギーを可能とする光メモリの実現も期待される。また、MnTeは磁性体でもあり、磁化の自由度を利用した新メモリも期待できる。また、多形変化を示すMnTe薄膜の製造法は、通常のスパッタリング成膜手法で十分であり、他の次世代メモリテクノロジーに対しても多くの実用メリットを持つと期待できる。将来の先進情報社会を支える新ポストSiテクノロジーを担う革新的な半導体テクノロジーとして、学術的ばかりでなく工業的にも極めて意義の高い研究である。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ S. Mori, S. Hatayama, Y. Shuang, D. Ando, Y. Sutou, Reversible displacive transformation in MnTe polymorphic semiconductor, Nat. Commun. 11, article 85 (2020).
- ・ S. Mori, D. Ando, Y. Sutou, Sequential two-stage displacive transformation from β to α via β' phase in polymorphic MnTe film, Mater. Des. 196, 109141-1-8 (2020).
- ・ S. Mori, S. Hatayama, D. Ando, Y. Sutou, Thermal stability and polymorphic transformation kinetics in β -MnTe films deposited via radiofrequency magnetron sputtering, Jpn. J. Appl. Phys. 60, 045504-1-5 (2021).

【ホームページ等】

<http://www.sutou-lab.jp/>
ysutou@material.tohoku.ac.jp