

## 第29回青葉工学研究奨励賞



### 新動作原理：接触抵抗変化メモリの創成

東北大学  
材料科学高等研究所  
助教 双 逸

逸

近年、AI、IoT、5Gの発展により、ネットワークを流通するデータトラフィック量は飛躍的に増加しており、それを支える不揮発性メモリ(NVM)の高速化や大容量化が強く望まれている。現在主流のNVM：フラッシュメモリが微細化の限界を迎えている中、より大幅に高速化かつ省電力化が可能な次世代NVM：相変化メモリ(PCRAM)が注目されている。図1にPCRAMの構造と原理を示す。その原理は単純であり、相変化材料(PCM)の結晶相とアモルファス相の電気特性の違いを利用してデータ記録する。通常、結晶は低抵抗(セット)を有し、アモルファスは高抵抗(リセット)を有するが、その相変化は電気パルスによるジュール加熱により行う。現在、 $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ (GST)系PCMが実用材に使われており、Intel/Micron社がPCRAMを原理としたSSDを製品化している。しかし、GSTはアモルファス相の結晶化温度( $T_x$ -160°C)が低いため、①自動車分野など高温環境下で使用できない、②メモリ素子構造が更に微細化すると素子間の熱クロストークが顕在化する、③PCRAM製造において既存のはんだ付けプロセス(245°C以上の高温プロセス)を利用できない、など、アモルファス相の耐熱性に課題を残している。更に、グリーン社会に向けては更なる省電力動作が強く望まれている。

以上の課題を解決するため、本研究では、新PCM材料：窒素(N)ドープ型  $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ (NCrGT)を提案した。このNCrGTはGSTより高い $T_x$ ( $\sim 300^\circ\text{C}$ )を示すが、アモルファス相と結晶相の膜(バルク)抵抗率 $\rho$ の変化はほぼゼロであり(図2左)、従来の常識からするとPCRAM材料として利用できない。しかし、その常識を覆し、NCrGT素子(電極：タングステンW)は、GST素子と同様に相変化による抵抗スイッチング動作を示し、低電力で動作する事を明らかにした(図2右)。NCrGT/W間の接触抵抗率 $\rho_c$ を測定した結果、アモルファス相( $\rho_c = 1.2 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ )と結晶相( $\rho_c = 8.2 \times 10^{-7} \Omega\text{cm}^2$ )で三桁の差が生じる事が判明した[1]。

この事は、材料自体の電気伝導ではなく、電極界面との界面伝導がメモリ素子性能を支配する事を示している。事実、詳細な伝導の温度依存性評価より、相変化に伴い界面伝導機構が変

化している事を明らかにした[2,3]。実際、NCrGTメモリ素子断面を直接TEM観察したところ、電極界面近傍の非常に限定された領域(10nm程度)

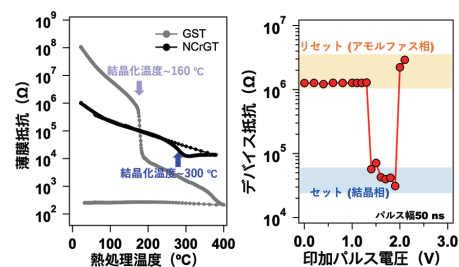


図2 左：NCrGTとGSTの抵抗温度依存性；右：NCrGT素子のメモリ動作

のみが相変化している事を確認した(図3)。このような相変化領域の極微小化は、動作電力の低減のみばかりでなく、メモリ素子の更なる微細化に有利である。これまでの材料設計はバルク自身の電気物性変化のみが着眼されてきたが、本研究は相変化に伴う電極界面伝導の変化こそがメモリ素子抵抗を真に決定づける事を示しており、PCM材料設計に新概念を加えた。この知見はPCM材料設計の幅を広げ、また、電極材料設計の重要性を示すと共に、PCRAMメモリ素子構造そのものに革新をもたらす。著者らは、以上の知見を基に、PCMの省エネ動作化とアモルファス相の耐熱性の課題を新たな材料学的側面から更に検討し、二次元vdW(van der Waals)物質である $\text{NbTe}_4$ が高い結晶化温度と低い融点を併せ持つ新たなPCMとして非常に有望であることを世界に先駆けて見出した[4]。

本研究業績：接触抵抗変化メモリの実現は、次世代NVMのブレイクスルーとして、超高集積・超大容量化はもとより人工知能分野への応用も大いに期待でき、半導体メモリ分野に大きなインパクトを与える。

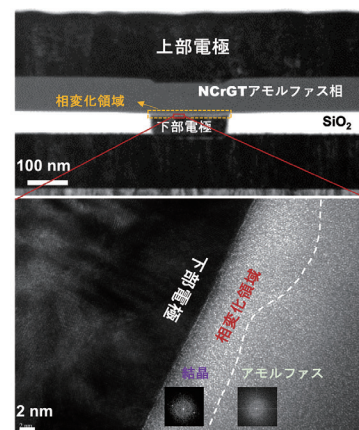


図3 NCrGT素子の断面TEM像

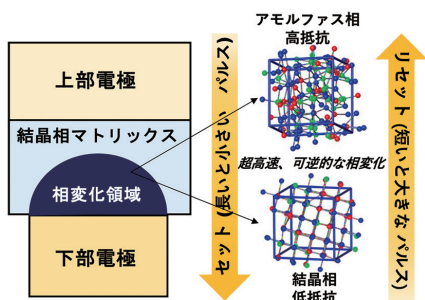


図1 PCRAM素子構造と原理

[1] Y. Shuang et al., *Appl. Phys. Lett.* 112, 183504 (2018).  
 [2] Y. Shuang et al., *Mater. Adv.* 1, 2426-2432 (2020).  
 [3] Y. Shuang et al., *Appl. Surf. Sci.* 556, 149760 (2022).  
 [4] Y. Shuang et al., *Adv. Mater.* 35, 2303646 (2023).