

準安定二次元層状物質を チャンネル材料としたトランジスタの実現

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

5G通信技術やAI、ビッグデータの利用に代表されるように、情報インフラの急速な発展は、情報処理を担う高性能な半導体デバイスの需要を益々高めている。トランジスタは、半導体チャンネルを流れる電流を制御し、情報処理を可能とするデバイスで、電子機器には不可欠な存在である。半導体機器は、シリコン(Si)チャンネルを微細化することで集積度を高め、高性能化を果たしてきた。最先端デバイスでは数百億個にも及ぶトランジスタが集積化されているが、微細化は物理的に困難な領域に到達しつつあり、高性能化の限界が迫っている。また情報インフラが急速に高度化する現代社会において、トランジスタ自体の低消費電力化も喫緊の課題である。そのため、これらの課題を解消するポストSi材料の登場が待ち望まれている。そこで、Siに代わる新規チャンネル材料として、二次元層状物質に着目した。二次元層状物質は、原子が数個積層しただけの極めて薄い状態でも安定に存在し、優れた電気的特性を示す。その中でも先行研究では、カルコゲナイド化合物である GeTe_2 において半導体的な電気的特性が報告されていたが、高温で相分離してしまうなどの問題があり、実用的な特性は不十分であった。¹⁾ そこでGeと同じ族で、結合エネルギーがより高いSiで置換した SiTe_2 において耐熱性の向上が期待できると考え、 SiTe_2 薄膜の作製条件の解明や物性の解明を行うことを目的とした。

■ 活動内容

① 準安定相 SiTe_2 作製手法の確立

SiTe_2 は、半導体製造でも用いられるスパッタ法で作製したアモルファス薄膜を熱処理し、準安定な構造へと結晶化させることで作製する。熱処理温度が高すぎると準安定相を維持できず、二次元的な構造を持たない安定相に分離してしまうため、最適な熱処理温度を見極める必要がある。また、薄膜に印加される応力や、初期薄膜の組成によっても形成条件が異なることも明らかになりつつあり、様々な条件を網羅的に探索する必要がある。今後は蛍光 X 線分析(XRF)による組成分析を行い、熱処理後、X 線回折実験(XRD)で SiTe_2 作製における最適条件を確立する。その後、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて原子レベルの精密な構造評価をしていく方針である。

② SiTe_2 薄膜を用いたデバイス作製と電気特性評価

トランジスタデバイスの実現に向け、①で作製した SiTe_2

薄膜の三端子デバイスにおけるスイッチング特性(I-V 特性など)を測定する。デバイスの作製には、スピナーによるレジストの塗布、露光、現像などの工程が含まれ、それらの最適化も行う計画である。さらに、 SiTe_2 のデバイス特性の起源を理解するため、次世代放射光施設 NanoTerasu 及び SPring8 を駆使して分析を行う計画である。具体的には硬 X 線光電子分光法(HAXPES)及びX線吸収分光法(XAFS)を用い、薄膜深部における準安定構造特有の局所構造などを調べることで、材料に関する深い知見を得たいと考えている。

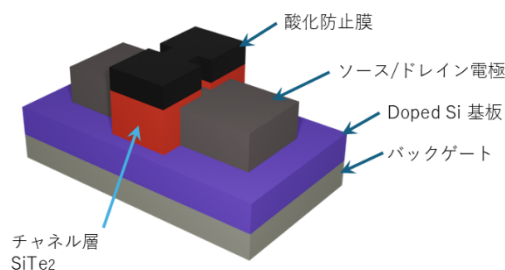


図1 トランジスタデバイス 概観

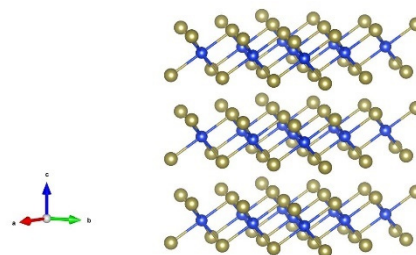


図2 SiTe_2 結晶構造

■ 参考文献

- 1) Y. Saito, et al., *Mater. Horiz.*, **10**, 2254–2261 (2023)

代表発表者 外池 巧樹(とのいけ こうき)
所 属 東北大学大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻 齊藤研究室

問合せ先 〒980-8579
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11 1004
TEL: 022-795-7328

■キーワード: (1)トランジスタチャンネル
(2)二次元層状物質
(3)薄膜材料

■共同研究者: 畑山祥吾氏
産業技術総合研究所・主任研究員