



面内分極を用いた2次元強誘電半導体メモリを開発

－新記録方式による高密度次世代不揮発性メモリ－

【要点】

- ナノチャンネルにおける面内分極を用いた新記録方式の不揮発性メモリを実現。
- 2次元強誘電半導体材料をメモリ材料として利用。
- ナノレベルのボトムコンタクト構造を用いた新たな横型高密度メモリとして期待。

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所の真島豊教授の研究グループは、2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 をギャップ長100 nmのナノギャップ電極（用語1）上に転写したボトムコンタクト構造において、面内分極を用いた新記録方式による不揮発性メモリを開発した。

強誘電体メモリは電源を切ってもデータを保持できる不揮発性メモリとして、大きな注目を集めている。特に2次元（2D）ファンデルワールス（VdW）半導体材料の α 相セレン化インジウム（ α - In_2Se_3 ）は、原子スケールでの強誘電性や光電性、半導体性を有しているため、高速の不揮発性メモリ材料として理想的である。しかしこれまでの α - In_2Se_3 メモリは、ギャップ長がマイクロメートルオーダーで、 α - In_2Se_3 上にソース／ドレイン電極を形成するトップコンタクト型であったため、チャンネル部が面内分極反転（用語2）する不揮発性 α - In_2Se_3 メモリは実現していなかった。

本研究では、ギャップ長100 nmのナノギャップからなるソース／ドレイン電極上に α - In_2Se_3 を転写する、ボトムコンタクト型強誘電体メモリ構造を採用した。これにより、ドレイン電圧で抗電界に匹敵する横方向電界をチャンネル間に印加し、面内分極反転に基づく強誘電半導体不揮発性メモリを実現した。このメモリには、 10^3 に達するON/OFF比と、17時間以上のリテンション（データ保持時間）、1200サイクル以上の耐久性があり、面内分極を利用した幅広い応用が可能であることが確かめられた。

このナノチャンネルボトムコンタクト型強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリでは、面内分極が横方向電界によって再配列するため、次世代のマルチレベルセル（MLC）に相当する様々な記憶状態が得られる可能性がある。ギャップ長を微細化したナノチャンネル強誘電半導体メモリは、高密度な次世代不揮発性メモリとして、産業用途への応用が期待される。

今回の成果は、ナノスケール材料科学技術分野で権威ある学術誌の一つである *Advanced Science* (Wiley) のオンライン版へ8月11日（現地時間）に掲載された。

●背景

強誘電体は、電界により分極を反転できるため、非破壊読み出しメモリ、ニューロモルフイックコンピューティングへの応用に加えて、不揮発性メモリとしての利用が期待されている。しかし、従来の強誘電体メモリ技術は、不揮発性や速度、拡張性、消費電力などの点で課題があり、高密度な不揮発性メモリの作製には適していなかった。

これに対して、2次元強誘電半導体である α 相セレン化インジウム (α - In_2Se_3) は、原子層レベルで強誘電性を示し、1.39 eV のバンドギャップを持つことから、高 ON/OFF 比や低消費エネルギーなどの特徴を有する強誘電半導体不揮発性メモリのチャンネル材料としての利用が期待されている。これまでに報告されている α - In_2Se_3 メモリでは、ギャップ長がマイクロメートルオーダーであり、 α - In_2Se_3 上にソース/ドレイン電極を形成するトップコンタクト型であったため、 α - In_2Se_3 部が面外分極反転しても、チャンネル部は面内分極反転しなかった。そこで、ソース/ドレイン電極上に α - In_2Se_3 を転写するボトムコンタクト型として、ギャップ長をナノメートルオーダーとすると、ドレイン電圧で抗電界に匹敵する横方向電界をチャンネル間に印加できるため、面内分極反転に基づく不揮発性 α - In_2Se_3 メモリの構築が期待されていた。

●研究成果

真島教授らはこれまでの研究で、電子線リソグラフィ（用語 3）により 20 nm 以下のギャップ長を有する白金ナノギャップ電極を作製する技術を確認してきた。本研究ではそれと同じ手法を用いて、シリコン基板上に、電極間隔が 100nm のナノギャップ電極を形成し、2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 をナノギャップ電極に転写したボトムコンタクト型のメモリ構造を作製した（図 1）。

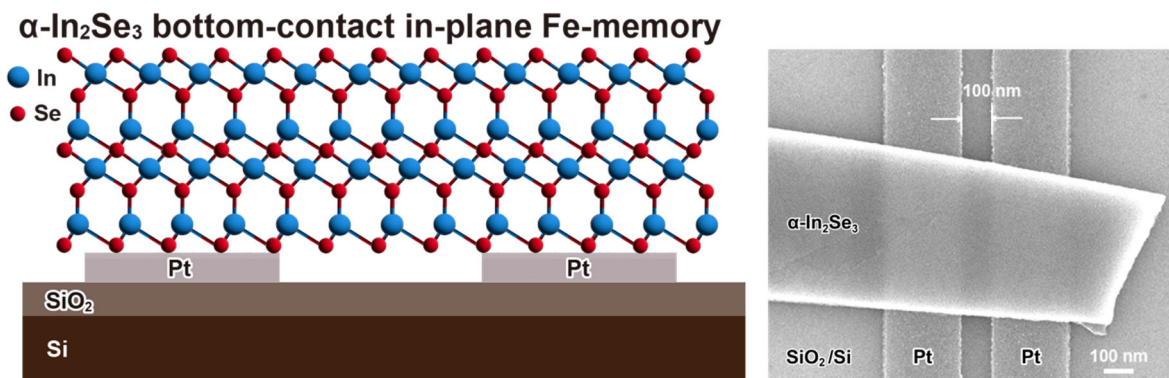


図 1 ボトムコンタクト型 2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリの断面構造（左）と、メモリ素子の SEM 像（右）

ギャップ長 100 nm のボトムコンタクト型 2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリの電流-電圧特性は、明瞭な面内分極反転に基づく強誘電半導体の不揮発性メモリループ効果を示し、 10^3 に達する ON/OFF 比が得られた（図 2 左）。また、リテンション（データ保持時間）は 17 時間以上あり、1200 サイクル以上の耐久性がある（図 2 右）。このことは、開発したナノチャンネルボトムコンタクト型 2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリが、面内

分極を利用した新記録方式による不揮発性メモリとして幅広く応用可能であることを示唆している。

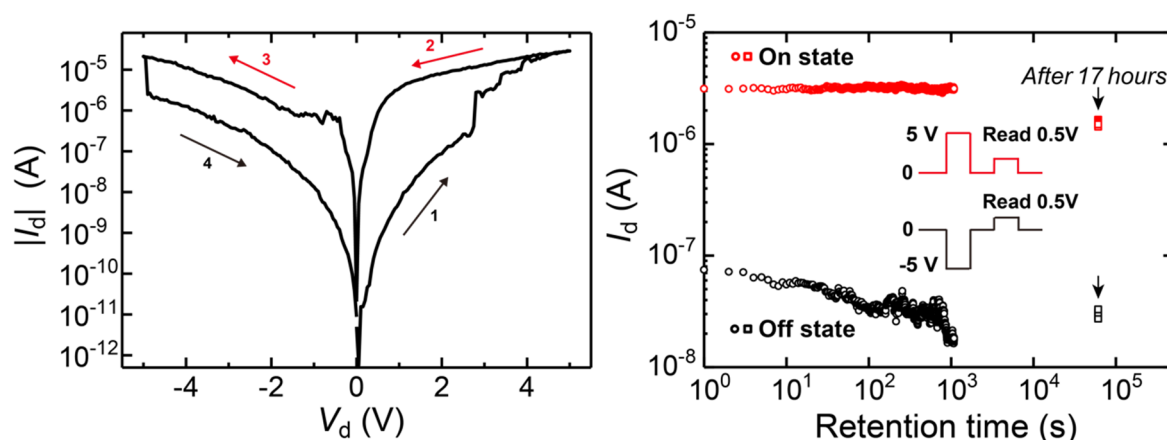


図2 ボトムコンタクト型2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリの電流-電圧特性(左)と、リテンション(データ保持時間)特性(右)

●研究の経緯

真島教授のグループでは、数 nm スケールの超高速動作が期待される単分子架橋共鳴トンネルトランジスタの安定動作実現に向けた研究を展開しており、これまでに電子線リソグラフィとナノ無電解金メッキを用いるナノギャップ電極構築技術を確認してきた。今回報告した、面内分極を用いた2次元強誘電半導体メモリは、このナノギャップ電極構築作製手法の知見を元に発案され、横方向電界による面内分極反転に基づく新しい不揮発性メモリ技術を確認した。

●社会的インパクト

今回開発したナノチャンネルボトムコンタクト型2次元強誘電半導体 α - In_2Se_3 メモリでは、面内分極が横方向電界によって再配列する、次世代のマルチレベルセル(MLC)に相当する様々な記憶状態が得られる可能性がある。ギャップ長を微細化したナノチャンネル強誘電半導体メモリは、高密度な次世代不揮発性メモリの開発につながることから、産業用途への応用が期待される。

●今後の展開

今回開発した2次元強誘電半導体メモリは、一般的な半導体基板であるシリコン基板上に面内分極不揮発性メモリを直接構築するという簡便な方法で作製できるため、工業的な応用価値が高い。今後は、企業などと連携して実用化に向けた研究開発を展開する。

【用語説明】

- (1) ナノギャップ電極：間隔がナノメートルオーダーの電極対のこと。
- (2) 面内分極反転：強磁性体における自発分極が、電界により基板面に平行な方向に

反転する現象。

- (3) **電子線リソグラフィ**：半導体集積回路の製造過程において、電子線を使い回路パターンを形成する方法。

【論文情報】

掲載誌：*Advanced Science*

論文タイトル：Bottom Contact 100 nm Channel-Length α -In₂Se₃ In-Plane Ferroelectric Memory

著者：Shurong Miao, Ryosuke Nitta, Seiichiro Izawa, and Yutaka Majima

DOI：10.1002/adv.202303032

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 教授
真島豊

Email: majima@mssl.titech.ac.jp

TEL: 045-924-5309 FAX: 045-924-5376

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661