

(5) ポスター発表

窒化銅を用いた両極性トランジスタとインバーターの動作実証

P12

Ambipolar Thin-Film Transistors and High-Gain CMOS-like Inverters Using Copper Nitride

松崎功佑 matsuzaki@mces.titech.ac.jp

東京工業大学

酸化物に代表されるイオン性半導体は、アモルファスの形態でも高電子移動度を示し、様々なディスプレイの駆動用薄膜トランジスタ(TFT)として実用化されている。しかし、これらの素子は n チャンネル TFT で構成され、良好な p チャンネル特性を示す TFT がいないため、CMOS への応用は進んでいない。本研究では両極性伝導を示すイオン性半導体である窒化銅 (Cu_3N) に着目した。従来の合成法では高品質薄膜成長が困難であったが、我々は NH_3/O_2 ガスを用いた新しい直接窒化法を適用することで、 $80\sim 200\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高正孔・電子移動度を示す Cu_3N 薄膜を実現してきた[1]。本合成法により作製した Cu_3N 薄膜をチャンネルに用いることで、アンバイポーラ型 TFT と CMOS インバーター動作実証を行った[2]。

【エピタキシャル薄膜を用いた電気二重層トランジスタ】

電気二重層トランジスタ(EDLT)構造を用いて、電界効果による $\text{Cu}_3\text{N}(100)$ エピタキシャル薄膜の両極性キャリア変調を試みた。EDLT 構造では従来の固体絶縁膜を用いた TFT と比較し $1\sim 2$ 桁高い $\sim 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ のキャリア密度を誘起でき、チャンネル層へのダメージを最小限に抑えたゲート絶縁体を容易に形成できることから、 Cu_3N 固有のトランジスタ特性を明らかにすることが期待される。直接窒化法を用いた熱処理 (NH_3/O_2 , 600°C) により高品質な $\text{Cu}_3\text{N}(100)$ 薄膜[1]のチャンネルを形成し、DEME-TFSI イオン液体をゲート絶縁体を用いた EDLT 構造を作製した。 $\text{Cu}_3\text{N}(100)$ 薄膜を用いた EDLT は、伝達特性より典型的なアンバイポーラ特性を示した。p チャンネル、n チャンネルともに On/Off 比は $10^4\sim 10^5$ であり、出力特性から正孔および電子の電界効果移動度は $\sim 5\text{ cm}^2/\text{Vs}$ と $\sim 10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ と見積もられた。

【多結晶チャンネル TFT と CMOS インバーター】

次に、多結晶チャンネル TFT と CMOS インバーターを試作した。 Cu_3N 多結晶薄膜チャンネルは、RF スパッタ法により Si/SiO_2 基板上に形成し、熱処理 (NH_3/O_2 , 450°C) することで得られた。 Cu_3N は大気中の酸素が表面に負電荷吸着することで、表面のバンドベンディングが起こる。したがって TFT 特性と CMOS インバーター特性は真空中で評価した。 Cu_3N 多結晶チャンネル TFT も伝達特性より p チャンネルと n チャンネルが共存するアンバイポーラ型動作が確認され、 On/Off 比は $10^3\sim 10^4$ であった。また出力特性の飽和領域より p チャンネ

ル、n チャンネルの電界効果移動度はそれぞれ $\sim 0.10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ と $\sim 0.05\text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。これら二つの多結晶チャンネル TFT を用いた CMOS インバーターは、100 以上の高いゲインを示し、酸化物半導体を用いた CMOS インバーター特性と同等の性能であった。

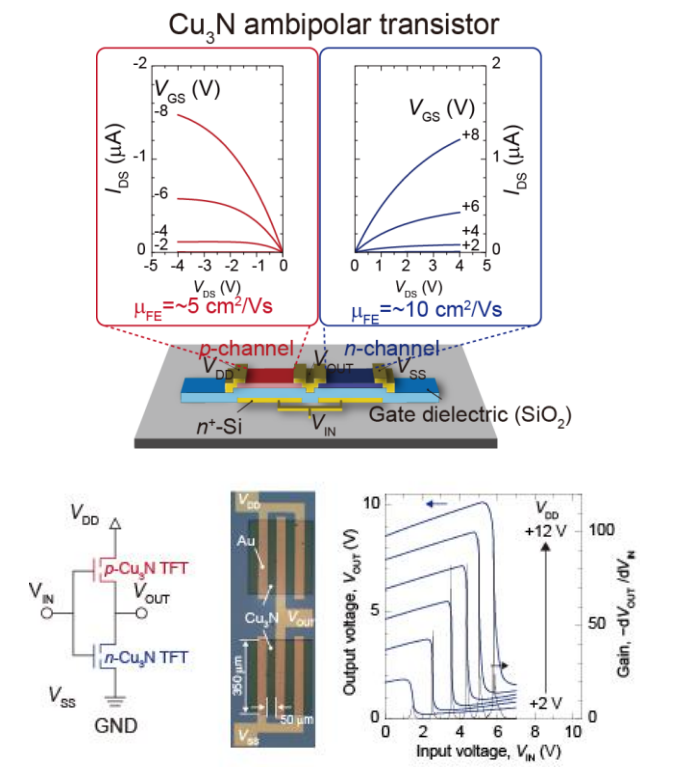


図 多結晶窒化銅薄膜をチャンネルに用いたアンバイポーラ型 TFT と CMOS インバーター

【共著者(所属)】

片瀬貴義・神谷利夫・細野秀雄(東京工業大学)

【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>電子材料領域

【参考文献】

[1] K. Matsuzaki *et al.*, *Adv. Mater.* **30**, 1801968 (2018)

[2] K. Matsuzaki *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **11**, 35132 (2019)