

鳥海 明

東京大学大学院工学系研究科
教授

二次元界面場により創出される新規材料物性の機能化

§ 1. 研究実施体制

(1)「鳥海」グループ

① 研究代表者:鳥海 明 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・強誘電体 HfO_2 薄膜の研究
- ・負性容量効果および電界効果金属絶縁体転移の研究
- ・機能性トンネル接合の研究

(2)「右田」グループ

① 主たる共同研究者:右田 真司 ((独)産業技術総合研究所 つくばイノベーションアリーナ
推進本部スーパークリーンルーム運営室総括主幹 兼ナノエレクトロニクス研究部門付主任
研究員)

② 研究項目

- ・非線形応答する誘電体をゲート絶縁膜に用いたトランジスタのシミュレーション検討

§ 2. 研究実施の概要

H26年度は両グループとも予備実験と検討の時期に当て、状況を確認し、今後の方向性を決める期間と位置づけて研究を進めた。

鳥海グループでは、上記三項目に関して検討に関して予備実験を進め、それぞれに対して以下のような新しい発見があった。

HfO₂に関して産総研グループと共同で、図1にあるように過去に報告例がないドーピングなしで強誘電特性を実証することができた。電極との相性は重要であり、界面からの強誘電相の核生成が始まっているまさに“二次元界面場により創出される新規材料物性の機能化”であると言える。これは HfO₂ の応用を大きく広げるとともに、また強誘電体の研究に対して従来とは異なる対象となる。まだ十分な強誘電性とは言えないが、今後さらに大きく展開したい。

さらに VO₂に関する金属・絶縁体に関しては、温度に関してきわめて急峻な転移を示すことができた。さらに電界効果に関しては転移点付近でゲート電圧によって3桁程度の抵抗変化を実現できた。これに関しては真に電界効果であるか、界面効果がどのように働いているかの詳細検討を今後進めるが、まさに新しい VO₂ の展開となり得ることを明らかにできた。

また、SiとGeを用いたヘテロPN接合に関して、メンブレン・ボンディングを用いて実現して、理論的に予測されるダイオード特性がほぼ得られた。まだ逆バイアス下でのリーク電流を下げること、順バイアス下での電流をさらに上げることはさらなる努力が必要になるが、これに関しても界面制御に関する新手法になることが期待できる[1]。

右田グループでは、非線形応答する誘電体を MOSトランジスタのゲート絶縁膜に用いた場合に、サブスレシールド領域でのトランジスタの電流変化率 (Subthreshold swing: SS)を熱的限界の 60 mV/decade よりも急峻化できる可能性についてデバイスシミュレーションで検討した。比誘電率が電界によって5から25まで変化するような誘電体を仮定し、これを蓄積モード型トランジスタのゲート絶縁膜に用いた場合について、ゲート絶縁膜の誘電関数とチャンネル内のポアソン方程式解が自己収束するように注意しながら計算を行った。その結果、図2に示すように SS を 34 mV/decade と非常に小さくできる条件が存在する

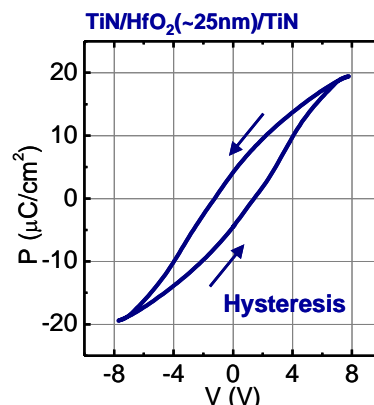


図1. TiN/HfO₂/TiN キャパシタの P-V 特性. non-doped HfO₂ においても適切な界面制御により強誘電性が得られる。

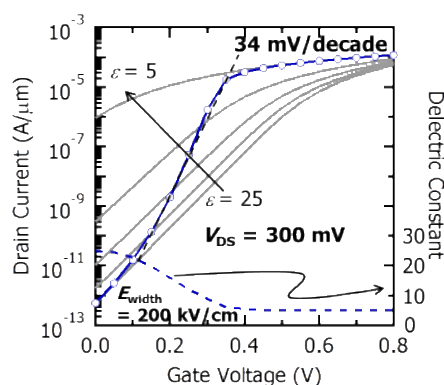


図2 電界依存型の誘電率を有するゲート絶縁膜を用いたトランジスタの I_D - V_{GS} 特性の計算例。

ことを確認できた。材料およびその界面設計の指針作りに役立つ計算体制が構築できた。

- [1] C. Liu, S. Kabuyanagi, T. Nishimura and A. Toriumi, “Fabrication and Characterization of n⁺Si/pGe Heterojunctions by Narrow Membrane Bonding,” 8th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration,” Sendai, 2015-1-29