

高誘電率材料 TiO₂ を用いた MOS 構造に関する研究

Research on MOS structure using high dielectric constant materials TiO₂

東京農工大学大学院 ○内田遥太、岩崎好孝、上野智雄

Tokyo univ. of Agri & Tech. ○Yota Uchida, Yoshitaka Iwazaki, Tomo Ueno

E-mail : s245401y@st.go.tuat.ac.jp

1. 研究背景

これまで LSI の性能向上は、主にトランジスタの微細化によって達成されてきた。しかし、微細化の限界が近づくにつれ、ゲートリーク電流の増大や短チャネル効果などの問題が顕在化し、微細化のみに頼った性能向上が困難になりつつある。

このような背景のもと、微細化に頼らない高性能化の手法として高移動度(High- μ)材料と高誘電率(High-k)材料を用いることが検討されている。High- μ 材料を用いることでより高速なスイッチング動作を期待でき、High-k 材料を用いることで絶縁膜厚を維持しながら容量値を増大させることが期待できる。

本研究では High- μ 材料としては Si よりもキャリア移動度の高い Ge を用いる。一方、High-k 材料としては誘電率が 60~80 と大きな値を持つ TiO₂ を用いる。しかし、TiO₂ はバンドギャップが 3.2[eV] と小さく、また、TiO₂ のコンダクションバンドと Ge のそれとのバンドオフセットが非常に小さいため直接接合するだけでは絶縁膜としての機能を十分に果たせないと考えられる。そのため、本研究では High-k 材料の積層構造を提案し、TiO₂ とバンドギャップが大きい Al₂O₃ を用い、Al₂O₃/TiO₂/Ge 構造を作製することで絶縁膜としての機能を果たしつつ、高誘電率を維持することを目標としている。我々はこの積層構造に対して N₂ アニールを行うことで良好な界面特性が得られることを確認している。しかし、先述したように TiO₂ と Ge のコンダクションバンドのバンドオフセットが小さいためキャリアがどこに蓄積しているのかという疑問が生じた。

そこで Al₂O₃/TiO₂/Ge 構造におけるキャリア蓄積サイトの検証を行うために以下の実験を行った。

2. 実験方法

Table.1 に実験手順を示す。n-Ge 基板を洗浄後、反応性スパッタを用いて Al₂O₃/TiO₂/Ge 構造を作成した。このとき、TiO₂ の堆積時間を 120[s]、100[s]、80[s]、60[s] の 4 パターン用意した。その後、300°C で 30 分間 N₂ アニールを行った。

Table.1 Experimental procedure

Sample number	1	2	3	4
洗浄	アセトン、HF 洗浄			
TiO ₂ 堆積	反応性スパッタ (Ar 流量 50[sccm] O ₂ 流量 50[sccm] DC ターゲット電力 50[W]) 120[sec](~6[nm]) 100[sec](~5[nm]) 80[sec](~4[nm]) 60[sec](~3[nm])			
Al ₂ O ₃ 堆積	反応性スパッタ (~10[nm]) (Ar 流量 30[sccm] O ₂ 流量 50[sccm] DC ターゲット電力 50[W] 時間 60[sec])			
N ₂ アニール(温度、時間)	300[°C], 30[min]			

3. 実験結果・考察

各サンプルの C-V 測定結果を Fig.1~Fig.4 に示す。図中の四角い枠の中の数値は測定周波数が 1000 [kHz] のときの蓄積容量値[$\mu\text{F}/\text{cm}^2$]を表している。Fig.1~Fig.4 から Al₂O₃ 膜厚を固定したまま TiO₂ 膜厚のみを変化させると膜厚の減少に従って蓄積容量値が増加していることが分かる。この結果から電荷が TiO₂ の伝導帯中に入り込み Al₂O₃/TiO₂ の界面に蓄積しているのではなく、TiO₂/Ge 界面に蓄積していることが分かった。また、TiO₂ を薄膜化していった場合でも界面特性を悪化させることはなく良好な特性が得られることが分かった。

これらの結果から N₂ アニールを行うことで Al₂O₃ と TiO₂ のミキシングが生じているのではないかと考える。この 2 材料のミキシングが生じた結果として TiO₂ のバンドギャップに広がりが生じ、TiO₂ と Ge のコンダクションバンドのバンドオフセットも拡大し、TiO₂/Ge 界面に電荷が蓄積することができるようになったのではないかと結論付ける。

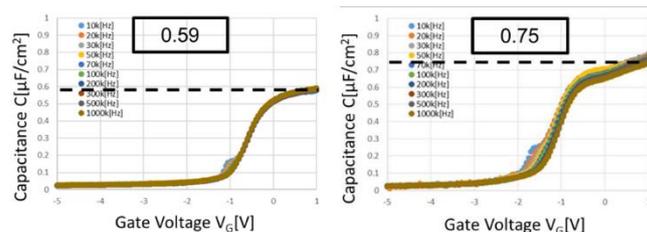


Fig.1 sample1

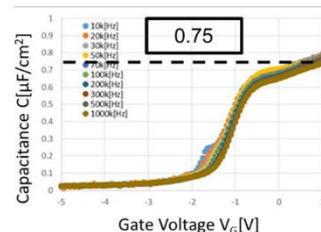


Fig.2 sample2

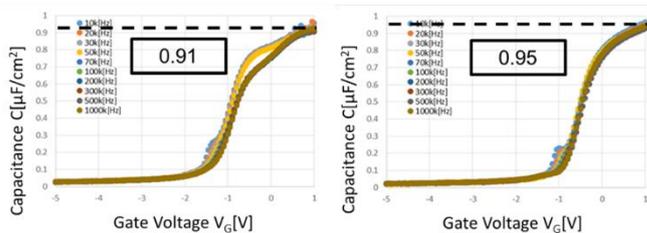


Fig.3 sample3

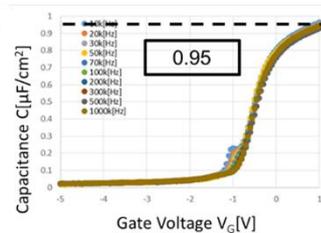


Fig.4 sample4

4. 今後の展望

今回の実験結果から N₂ アニールによって Al₂O₃ と TiO₂ にミキシングが起こっていることが示唆された。今後は Al₂O₃ を薄くしていくことで容量値をさらに増加させること、成膜順を入れ替えた TiO₂/Al₂O₃/Ge 構造でサンプルを作成することを中心に実験を行っていきたい。