

パルス MOCVD 法により作製した GeO<sub>2</sub> 薄膜を用いた  
ゲートスタック構造の界面構造と電気的特性

Interface structures and electrical properties of gate stack structures with thin GeO<sub>2</sub> layer  
formed by pulsed metal organic chemical vapor deposition

名大院工<sup>1</sup>, 学振特別研究員<sup>2</sup>

○柴山 茂久<sup>1,2</sup>, 吉田 鉄兵<sup>1</sup>, 加藤 公彦<sup>1</sup>, 坂下 満男<sup>1</sup>, 竹内 和歌奈<sup>1</sup>,  
田岡 紀之<sup>1</sup>, 中塚 理<sup>1</sup>, 財満 鎮明<sup>1</sup>

Graduate School of Eng., Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science<sup>2</sup>

○S. Shibayama<sup>1,2</sup>, T. Yoshida<sup>1</sup>, K. Kato<sup>1</sup>, M. Sakashita<sup>1</sup>, W. Takeuchi<sup>1</sup>,  
N. Taoka<sup>1</sup>, O. Nakatsuka<sup>1</sup>, and S. Zaima<sup>1</sup>

E-mail: ssibayam@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】次世代高駆動力 Ge チャンネル MOSFET の実現には、Fin 型およびナノワイヤ等の立体チャネル構造が有望である。立体構造上へのゲート絶縁膜の形成では、 $10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  以下の低い界面準位密度 ( $D_{it}$ ) を有する界面構造の形成は勿論のこと、閾値電圧ばらつき低減のため、均一な膜厚の絶縁膜形成が求められる。低  $D_{it}$  の実現には、高誘電率 (high-k) 絶縁膜/Ge 界面への GeO<sub>2</sub> 層の挿入が有力な手法として着目されている[1]。そこで、当研究グループでは、GeO<sub>2</sub> 膜の原子層堆積 (ALD) に関する研究に着手し、パルス有機金属化学気相堆積法 (パルス MOCVD) による、テトラエトキシゲルマニウム (TEOG) および H<sub>2</sub>O の交互供給により、GeO<sub>2</sub> 膜厚を制御可能であることを報告している[2]。本稿では、GeO<sub>2</sub>/Ge 構造上に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を堆積し、ゲートスタック構造を形成した際、MOCVD 法により作製した GeO<sub>2</sub> 膜 (堆積-GeO<sub>2</sub>) が high-k/Ge 構造の界面層として有力に機能することを見出したので報告する。

【実験方法】p 型 Ge(001) 基板に希フッ酸洗浄を施した後、ALD 装置において、TEOG および H<sub>2</sub>O の交互供給により、堆積-GeO<sub>2</sub> を基板温度 300°C で作製した。また、比較のため、熱酸化法を用いて GeO<sub>2</sub> 膜を 300°C で作製した (熱酸化-GeO<sub>2</sub>)。その後、作製した堆積-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造および熱酸化-GeO<sub>2</sub>/Ge 上に、ALD 法によって膜厚 4 nm の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を 300°C で堆積した。最後に、真空蒸着法により Al 電極を形成し、MOS キャパシタを作製した。試料の化学結合状態を、X 線光電子分光法を用いて試料の化学結合状態を評価した。線源として AlK $\alpha$  ( $h\nu=1486.6 \text{ eV}$ ) を用い、光電子脱出角は 90° とした。また、容量-電圧 (C-V) 特性およびコンダクタンス法を用いて、電気的特性を評価した。

【結果および考察】堆積-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造および、熱酸化-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造上への Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積前後の Ge 酸化物面密度の関係を Fig. 1 に示す。Ge 酸化物面密度は、GeO<sub>2</sub> 膜厚に関係している。GeO<sub>2</sub> 膜は、high-k 絶縁膜形成時に有機金属原料の供給により、エッチングされることが知られている[3]。Fig. 1 より、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積にともなう Ge 酸化物面密度の減少量は、堆積-GeO<sub>2</sub> の方が少なく、堆積-GeO<sub>2</sub> は熱酸化-GeO<sub>2</sub> と比較して、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積時のエッチング耐性に優れることが分かった。さらに、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積後の Ge 酸化物面密度が等しい ( $\sim 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/堆積-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/熱酸化-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造の  $D_{it}$  のエネルギー分布を調べたところ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ge 界面への GeO<sub>2</sub> 膜の挿入により、Midgap 付近の  $D_{it}$  を低減できることが分かった (Fig. 2)。特に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/堆積-GeO<sub>2</sub>/Ge 構造の方が Midgap 付近の  $D_{it}$  をより顕著に低減できることを見出した。本研究では、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ge 界面層に堆積-GeO<sub>2</sub> を用いて、Midgap 付近において、 $4 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  の低  $D_{it}$  を得ることに成功した。膜厚制御が容易であり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積に対してエッチング耐性がある点から、堆積-GeO<sub>2</sub> は high-k 絶縁膜/Ge 界面層として非常に有望であると考えられる。

[1] R. Zhang *et al.*, IEEE Trans. Electron Dev. **59**, 335 (2012).

[2] T. Yoshida *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. *accepted*.

[3] K. Kato *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 10PE02 (2011).

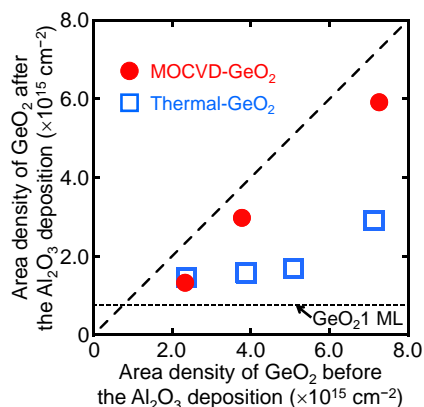


Fig. 1 The relationship between area density of GeO<sub>2</sub> after and before the 4-nm-thick Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> deposition at 300 °C.

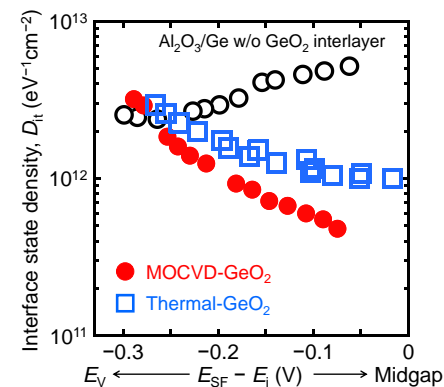


Fig. 2 Energy distribution of  $D_{it}$  of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ge, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MOCVD-GeO<sub>2</sub>/Ge, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Thermal-GeO<sub>2</sub>/Ge structures.