

プラズマ後窒化による $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ ゲートスタックの EOT スケーリングに関する検討

Investigation of EOT scaling of $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ gate stack by plasma post-nitridation

東大院工¹, 住友化学²

○韓在勲¹, 張睿¹, 長田剛規², 秦雅彦², 竹中充¹, 高木信一¹

Univ. of Tokyo¹, Sumitomo Chemical Co. Ltd.²

○J.-H.Han¹, R.Zhang¹, T. Osada², M. Hata², M. Takenaka¹, and S. Takagi¹

E-mail: hanjh@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】近年、歪シリコンゲルマニウム (SiGe) は、その高い正孔移動度から高性能 MOSFET のチャネル材料としての応用が期待されている。また歪 SiGe MOS 構造を用いた高性能光変調器応用も提案されている [1]。しかし、high-k/ SiGe MOS 界面の場合、 $10^{12} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 以上の高い界面準位密度 (D_{it}) が報告されており、高性能なデバイス実現の妨げとなっている。我々は ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ後窒化を用いた $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ の MOS 界面改善技術の研究を進めてきた [2]。この技術によって、EOT (Effective Oxide Thickness) の増加を抑制しながら、良好な $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ MOS 界面特性が得られている。しかし、更なる EOT スケーリングのためには Al_2O_3 の誘電率は不十分であり、 HfO_2 のような高誘電率材料を導入する必要がある。そこで、プラズマ後窒化法による $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ ゲートスタックの EOT スケーリングを検討した。また、界面の Al_2O_3 膜厚およびプラズマ後窒化条件を変えつつ、EOT 増分と界面準位量の関係について報告する。

【実験結果】図 1 にプラズマ後窒化を用いた $\text{SiGe}_{0.25}$ MOS キャパシタの作製プロセスを示す。各キャパシタは、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ 、 HfO_2/SiGe 、 $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ の構造を持ち、一部のサンプルにはプラズマ後窒化を次の通り施した。まず、 Al_2O_3 または HfO_2 を 1 nm 堆積した後、ECR 法によって生成された窒素プラズマを照射した (プラズマ後窒化)。次に Al_2O_3 または HfO_2 を再び堆積した後、キャパシタを製作した。図 2 にその電圧-容量特性 (C-V 特性) を示す。 HfO_2/SiGe MOS キャパシタの C-V 特性 (図 2(a)) から、 HfO_2/SiGe 界面には多くの界面準位が存在することが分かる。 HfO_2/SiGe ゲートスタックにプラズマ後窒化を施して界面特性の改善を試みたものの、C-V 特性 (図 2(b)) の改善は見られなかった。一方、 Al_2O_3 を堆積した後、プラズマ後窒化を行ってから HfO_2 を堆積したサンプル (図 2(c)) では、周波数分散の改善があることが確認できる。この結果から、プラズマ後窒化による $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ 構造を用いることで、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiGe}$ 並の界面特性を維持しながら、 HfO_2 により EOT スケーリングが可能であることが示唆された。しかし、EOT をスケールアップするためには Al_2O_3 の膜厚を 1 nm 以下に

薄層化することが求められる。そこで、界面特性を維持しながら Al_2O_3 の膜厚を最小に出来る最適な条件を明らかにするための実験を行った。図 3 は Al_2O_3 膜厚と窒素プラズマの RF 強度を変えながら、プラズマ後窒化による EOT の増分と界面準位密度 (D_{it}) の最小値との関係を求めた結果である。図 3 から、EOT の増分と D_{it} には Al_2O_3 膜厚や RF 強度に依らずユニバーサルな関係があることが分かり、 Al_2O_3 の膜厚と RF 強度を同時に減らすことで、界面特性を維持しながらスケールアップが可能であることが分かった。

【謝辞】本研究の一部は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) と半導体理工学研究センター (STARC) の助成により実施した。

【参考文献】

[1] M. Takenaka and S. Takagi, JQE, **48**, p. 8, 2012

[2] 韓在勲他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 28a-G2-6

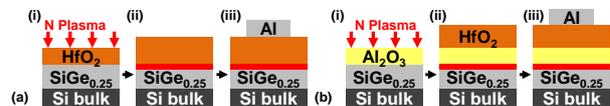


図1. ECRプラズマ後窒化による SiGe MOS キャパシタのプロセスフロー

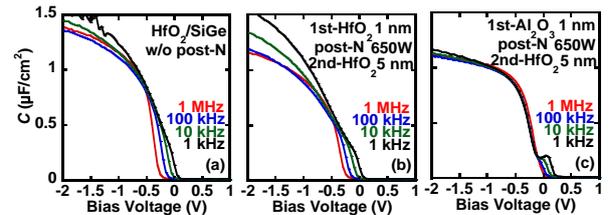


図2. SiGe MOS キャパシタの C-V 特性

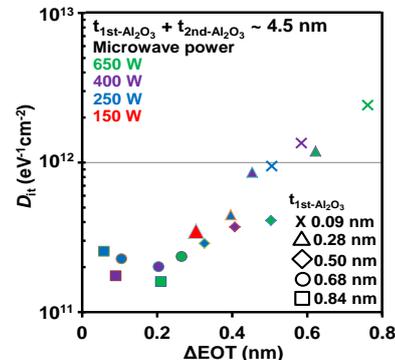


図3. プラズマ後窒化による EOT の増分と D_{it} の最小値の関係