

プラズマ CVD TEOS 膜を熱拡散マスクに用いたミニマル液体ドーパントプロセスによる CMOS 試作

CMOSFET Fabrication by Minimal Spin-on Dopant Process
using Plasma Enhanced CVD TEOS as Thermal diffusion mask

産総研¹, ミニマルファブ技術研究組合²

○古賀 和博^{1,2}, 居村 史人^{1,2}, クンブアン ソマワン^{1,2}, 原 史朗^{1,2}

AIST¹ and MINIMAL²

○Kazuhiro Koga^{1,2}, Fumito Imura^{1,2}, Sommawan Khumpuang^{1,2}, and Shiro Hara^{1,2}

E-mail: kazuhiro.koga@aist.go.jp

【背景】我々は規格化された超小型の製造装置とそのシステムであるミニマルファブの開発を行っており、局所クリーン化技術により製造ラインの運転コストを従来の 1/1000 に低減することを目標に掲げている[1]。現在、主要前工程装置は実用に向けた装置開発を行っている。但し、デバイス試作に必要な不純物拡散は、イオン注入装置が未だプロトタイプを開発中の為、液体ドーパントを用いた熱拡散法を採用している。これまで熱酸化膜を拡散マスクとした熱拡散法により、p-MOS および CMOS インバータの試作に成功している。しかし、熱酸化膜を拡散マスクとしている為に高温処理時間が増加し、拡散層表面の濃度制御が容易ではない。高温熱履歴が大きいほど、ソース、ドレイン拡散層のゲート領域へ横方向拡散が顕著になり、ゲート長の制御が難しくなる。そこで、ミニマル TEOS プラズマ CVD 装置を用いて、低温での膜形成が可能な Plasma Enhanced CVD TEOS (以下、PE-TEOS と略す)膜を拡散マスクに適用することにより、拡散層表面濃度変化の抑制を検討した。実際に、CMOS を試作し設計チャンネル長と実効チャンネル長との差を低減することができたのでその内容について報告する。

【実験方法】図 1 に今回の拡散マスク評価で試作した CMOS のプロセスフローを示す。ウェーハは厚さ 250 μ m, 抵抗率 3~18 $\Omega \cdot$ cm の 12.5mm Φ の n-Si を用いた。まず、B (ボロン) 拡散 (1000 $^{\circ}$ C -60min, O₂/N₂=50/50%雰囲気)にて p ウェルを形成した後、p-MOS のソース (S)/ドレイン (D) 拡散層 (p+層) を形成した。B 拡散は 950 $^{\circ}$ C-30min, O₂/N₂=50/50%雰囲気である。次に p ウェル上に n-MOS の S/D 拡散層 (n+層) を P (リン) 拡散 (1000 $^{\circ}$ C-1min, N₂ 雰囲気)にて形成した。リン塗布膜を BHF エッチングにて除去した後、ゲート酸化 (1150 $^{\circ}$ C) を兼ねたドライブイン拡散にて拡散層を形成した。B または P の塗布溶剤をミニマル塗布装置にて塗布、乾燥ベークした後、ミニマル抵抗加熱炉装置にてハードベークとプリデポ拡散を一貫処理した。拡散マスクの評価ではリンの拡散マスクを熱酸化膜 (1150 $^{\circ}$ C 生成) と PE-TEOS 膜 (300 $^{\circ}$ C) で分流試作し、インバータ特性、単体の n-MOS, p-MOS の特性、および実効チャンネル長を比較評価した。

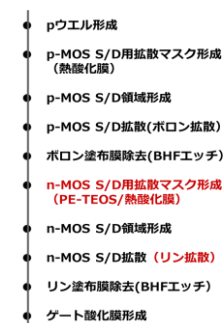


図 1 CMOS試作プロセスフローとリン拡散マスク評価

【結果と考察】図 2 と図 3 にリンの熱拡散における拡散マスクを PE-TEOS 膜と熱酸化膜とした場合の n-MOS と p-MOS のトランジスタ特性 (I_d - V_d 特性、ゲート電圧 V_g をパラメータ)を示す。PE-TEOS 膜の特性は熱酸化膜の場合と同様な結果が得られた。

図 4 は拡散マスクの違いによる実効チャンネル長を比較したものである[2]。設計チャンネル長 10 μ m の p-MOS において、PE-TEOS 膜の実効チャンネル長は 4.8 μ m で熱酸化膜の 3 μ m より 2 μ m 程度長い。p-MOS の場合は既に形成されている S/D 拡散層の上に拡散マスクを生成するので、その生成温度の違いで差が生じたものと推定できる。PE-TEOS 膜の生成温度は 300 $^{\circ}$ C であるが、熱酸化膜の場合は 1150 $^{\circ}$ C であり、横方向への拡散にて実効チャンネル長が短くなったものと考えられる。PE-TEOS 膜を適用することにより、拡散層の横方向への拡散を抑制できることがわかった。

一方、n-MOS においては PE-TEOS 膜の実効チャンネル長は 5.5 μ m で熱酸化膜の 6.6 μ m に比べて 1 μ m 程度短く、p-MOS の場合とは逆の結果である。n-MOS の S/D 拡散層は、ゲート酸化膜形成時の熱影響は受けるが、拡散マスク形成後に形成されるため拡散マスクプロセスの熱影響は関係しない。その為、リン拡散前の S/D 領域形成 (BHF ウエットエッチング) でのサイドエッチング量の違いやリンの透過などが考えられる。これらの問題を踏まえて適用化の検討を進めているが、詳細については当日の報告で述べる。

【参考文献】[1]原 史朗、クンブアン ソマワン:「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理学会誌 83(5), p. 380(2014).

[2] 寺田 和夫:「デバイスパラメータ抽出技術」, 応用物理学会分科会「シリコンテクノロジー」 予稿集 No. 30, p. 2-8, (2001).

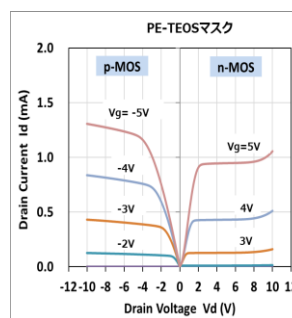


図 2 PE-TEOS膜を拡散マスクに適用した場合の n-MOS, p-MOSの I_d - V_d 特性

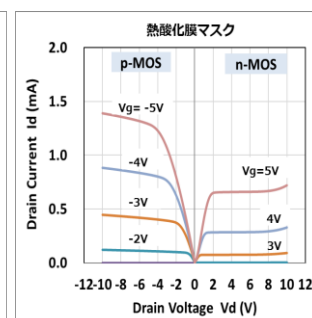


図 3 熱酸化膜を拡散マスクに適用した場合の n-MOS, p-MOSの I_d - V_d 特性

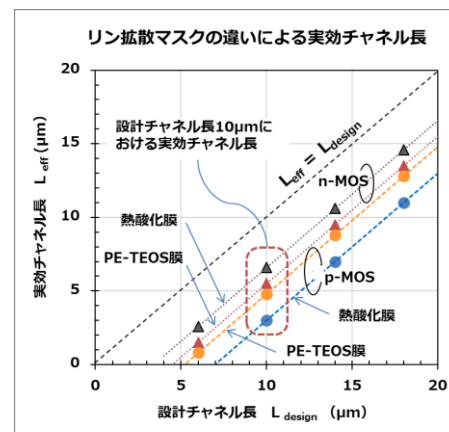


図 4 リン拡散マスクとして、熱酸化膜とPE-TEOS膜を適用したときの実効チャンネル長の比較