

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 28 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 年度～2011 年度

課題番号：20360137

研究課題名(和文) SiO ナノ粉末の真空蒸着による高品位酸化膜の低温作製とフレキシブル
基板上の IC研究課題名(英文) Fabrication of high-quality gate oxide at low temperature by
evaporation of SiO nanopowder for flexible ICs

研究代表者

野崎 眞次 (NOZAKI SHINJI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：20237837

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子電気・材料工学

キーワード：シリコン、低温酸化膜、界面準位、フレキシブル基板、ゲート酸化膜、光酸化、
真空蒸着、ナノ粉末

1. 研究計画の概要

本研究は、SiO ナノ粉末の蒸着によるシリコン酸化膜作製プロセスの低温化、MOS キャパシタの評価法の確立による低温プロセスを要するフレキシブル基板上での高性能 MOSFET 実現の可能性の検証を次の2項目により行う。

(1) SiO ナノ粉末の蒸着によるシリコン酸化膜作製プロセスの低温化：

酸化膜作製プロセスは、SiO 粉末のナノ粉末の真空蒸着、UV 酸化から構成されるが、RCA 洗浄後のシリコン表面処理、蒸着時の基板温度、UV 酸化法(照射光強度、波長)を最適化し、高絶縁性および低い界面準位密度の酸化膜を 200°C 以下で作製する。また、真空蒸着後に装置内での UV 酸化を行えるように既存の装置を改造する。

(2) MOS キャパシタの評価法の確立：

MOS キャパシタの C-t 測定による界面およびシリコン内でのキャリア生成速度の評価法を確立する。高周波 C-V と quasi-static C-V の比較が界面準位密度を測定するには最も正確ではあるが、quasi-static C-V 測定には高い絶縁性が要求されるため、低温で作製した酸化膜には必ずしも適さない。

2. 研究の進捗状況

(1) 初年度に基板を蒸着装置の外に取り出すことなく SiO_x 膜の蒸着と UV172nm の照射処理を行うために真空紫外光を既存の蒸着装置に取り付けたが、紫外光照射の効果が見られるもののさらにその効果を顕著にするため、次年度は、基板が紫外光照射時には光源

に近づくよう、回転及びスライド機構のついた基板ホルダーを設計、取り付けた。

(2) 設置した UV 光照射装置において、スライド機構を利用して光源に近づけ、酸素雰囲気中での真空紫外光照射の MOS 界面、堆積膜への影響を調べた。その結果、真空紫外光による光酸化は MOS 界面の界面準位密度を低減するには非常に有効であることがわかった。さらに真空紫外光照射の効果調べ、低温酸化膜を高品位化するために、真空紫外光照射の界面への影響と堆積膜への影響を分けて実験を行った。界面への影響に関する実験では、RCA 洗浄後の Si 基板上に 3nm の薄い酸化膜を堆積し、真空紫外光を酸素雰囲気中で照射し、さらに 30nm 堆積し、酸素雰囲気中でメタルハライド光源を用いて紫外光照射による光酸化を行ったところ、quasi-static C-V で測定した界面準位密度が、 $6.2 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ とこれまでの $2.1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ から大きく減少した。しかし、厚い堆積膜に酸素雰囲気中で真空紫外光を照射すると、光のエネルギーが高すぎるため、酸素結合と Si と O 結合の分解が同時に起き、酸素の多い表面では酸素結合が促進され、熱酸化膜同等の高品位な酸化膜が得られるが、表面から深い部分では低温のため酸素が拡散しにくく、Si と O 結合の分解が促進され、紫外光照射の効果はあまり見られなかった。

(3) 電気測定では、高周波 C-V と quasi-static C-V の比較が界面準位密度を測定するには最も正確ではあるが、quasi-static C-V 測定には高い絶縁性が要求されるため、低温で作製した酸化膜には必ずしも適さない。そこで、

パルス発生器、高速応答容量メーター、ソースメーター、オシロスコープを購入し、パルス電圧に対する容量変化を測定するシステムを開発し、その容量変化から界面準位密度を求める方法を確立した。C-t法はquasi-static C-V測定ができない場合、界面準位、固定電荷、膜中の電荷すべてに影響されるTerman法による測定よりは、より正確に界面準位密度を求めることが可能である。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

200°C以下のプロセス温度で当初の数値目標である界面準位密度 $10^{11}\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ に3年間の研究を終わって真空紫外光照射により大きく近付き、真空紫外光による光酸化機構を解明できた。また、C-t法での測定システムを構築し、低温酸化膜の測定にも成功した。これらの成果は評価され企業のセミナーでの基調講演を依頼された

4. 今後の研究の推進方策

(1)紫外光照射条件をさらに最適化し、界面準位密度を $10^{11}\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ に近付ける。

(2)温度を低温から高温まで変化させることによりバンドギャップ内の幅広いエネルギー範囲での界面準位密度を解析する。

(3)本研究の最終年度である今年度は、目標を達成し、国内外の学会、研究会でその成果を発表し、開発した低温酸化膜作製技術を多くの関連研究者に知ってもらい、フレキシブル基板上にMOSFETの試作を行える共同研究相手企業を発掘する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① S. Nozaki, S. Kimura, A. Koizumi, H. Ono and K. Uchida, "High-quality oxide formed by evaporation of SiO nanopowder: Application to MOSFET's on plastic substrates and GaN epilayers," *Materials Science in Semiconductor Processing* 11, 384 - 389, 2009 査読有
- ② S. Nozaki, C. Y. Chen, S. Kimura, H. Ono, and K. Uchida, "Photoluminescence of Si nanocrystals formed by the photosynthesis," *Thin Solid Films* 517, 50~54, 2008 査読有

[学会発表] (計6件)

国外:

- ① S. Nozaki, S. Kimura, A. Koizumi, H. Ono and K. Uchida, "High-quality oxide formed by evaporation of SiO nanopowder: Application to MOSFET's on plastic substrates and GaN epilayers," The E-MRS 2008 Spring Meeting, 招待講演 2008年5月30日, Strasbourg, France

国内:

- ① 山崎政宏、小泉 淳、小野 洋、内田和男、野崎眞次、「真空紫外光照射によるSi/SiO₂界面構造の改質」、第71回応用物理学会学術講演会、2010年9月16日、長崎大学
- ② 杉本真矩、小泉 淳、小野 洋、内田和男、野崎眞次、「SiO₂ナノ粉末への光照射によるSiナノクリスタルの形成機構」、第30回表面科学学術講演会、2010年11月5日、大阪大学
- ③ 杉本真矩、小泉 淳、小野 洋、内田和男、野崎眞次、「SiO₂ナノ粒子への光照射によるシリコンナノ結晶の形成機構」、電気通信大学・東京農工大学第6回合同シンポジウム、2009年12月5日、東京農工大学
- ④ 高井伸彰、小池俊平、小野 洋、内田和男、野崎眞次、「C-t法による低温酸化膜MOSキャパシターの電気的特性評価」、電子情報通信学会東京支部学生会講演会、2010年3月13日、東京電機大学
- ⑤ 李 宰盛、野崎眞次、小泉 淳、内田和男、小野 洋、「SiO₂粉末への光照射によるSiナノ結晶の形成」、第69回応用物理学会学術講演会、2008年9月3日、中部大学

[その他]

- ① 野崎眞次、「フレキシブル基板、化合物半導体基板上のMOSFET作製用酸化シリコンナノ粒子:真空蒸着と光酸化による高品位酸化膜の作製」、ケースレー・シンポジウム2010基調講演、2010年7月23日、ホテルインターコンチネンタル東京ベイ