

Title	Low Temperature Formation of Insulating Layers for Si and SiC-based Metal-Insulator-Semiconductor Structure
Author(s)	任, 星淳
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47624
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	任 星 淳
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 20671 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 9 月 27 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科化学専攻
学 位 論 文 名	Low Temperature Formation of Insulating Layers for Si and SiC-based Metal-Insulator-Semiconductor Structure (Si 及び SiC 基板を用いる MIS 構造のための絶縁膜の低温創製)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 小 林 光 (副査) 教 授 宗 像 利 明 教 授 笠 井 俊 夫 助 教 授 高 橋 昌 男

論 文 内 容 の 要 旨

金属—絶縁膜—半導体 (MIS) デバイスは、LSI、液晶ディスプレイ用薄膜トランジスタ (TFT) などの半導体デバイスに用いられている重要な基本デバイスである。半導体デバイス作製中の特性低下を防ぐと共に、半導体プロセスの単純化のため、低温で MIS デバイスの絶縁膜を形成する技術は非常に重要である。

本研究では、新しい低温創製法を開発して、Si 及び SiC 基板上に良質の絶縁膜を形成して MIS デバイスに適用することを目的にした。

1. 電気化学法による SiON/Si 構造の室温創製

LSI の高集積度化に伴い、ゲート絶縁膜の薄膜化が要求されている。ゲート絶縁膜をさらに薄膜化した場合、リーク電流密度が増加し、これを低減させることが最も重要な課題である。リーク電流密度の増加は、デバイス性能の低下及び消費電力の増大をもたらす。したがって、トランジスタの性能向上のためにゲート絶縁膜として、高誘電率を持つ材料が期待されている。近年、SiO₂ の利点と窒化膜の利点を同時に持っている SiON 膜がゲート絶縁膜として注目されている。

SiON 膜は、シリコン電極を 0.1M KCN メタノール溶液中に浸漬して、白金を対極と参照極に用いた三極系の電気化学セルを用いて窒酸化させることによって形成した。

KCN メタノール溶液に Si 電極を浸漬して 1~3 V を印加する電気化学的手法によって、室温、大気圧で SiON 膜を形成することに初めて成功した。室温で形成した SiON 膜にもかかわらず、かなり低いリーク電流密度を示した。1 V の電圧印加では、シアン化物イオンの分解により Si の窒化が、2 V 以上の電圧印加では、残留水分とシアン化物イオンの分解により Si の酸化と窒化が同時に進行した。

2. 硝酸酸化法 (NAOS) による SiO₂/3C-SiC 構造の低温 (~120°C) 創製

SiC はワイドギャップ半導体であり、優れた物理的特性を有し、パワーデバイス、高周波デバイス、さらに Si を使用できない領域での応用に注目されている。特に、3C-SiC は MIS デバイスへの応用において高い電子移動度及び高

い飽和電子速度等の良好な物理的性質を持っているため、高周波デバイスに適用できる。また、6インチウェーハが作製でき、デバイスの大量生産とコストダウンが期待される。

3C-SiC 基板を 40 wt% の硝酸水溶液に浸漬し、溶液を加熱して硝酸と水の共沸状態 (68 wt% HNO₃) にした後、所定の時間、120°C に加熱して SiC を酸化した。一部の試料は、硝酸酸化前後に 100% 水素中で熱処理を行った。

従来 1100°C 以上の高温が必要であった SiC の酸化を、120°C の低温で行うことに成功した。形成された SiO₂ 膜厚は酸化時間に比例して増加し、界面反応が律速過程であることが分かった。形成された SiO₂ 膜のリーク電流密度は高かったが、100% 水素中で酸化後熱処理により大幅に減少した。その主な原因は、水素処理によって SiO₂/3C-SiC 界面の平坦化であることを見出した。酸化前に 3C-SiC 基板を水素処理した場合、3C-SiC 表面が平坦になり、その後形成した SiO₂/3C-SiC 構造のリーク電流密度が著しく減少した。水素処理による平坦化のメカニズムとしては、凹凸な表面の最上部は表面エネルギーが高く、下部は表面エネルギーが低いため、強い還元性を持つ水素によって、表面に残留する酸化膜の還元から発生するエネルギーを駆動力として、高いエネルギー領域の原子が低いエネルギー領域に移動することによると考えられる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、LSI や液晶ディスプレイ用薄膜トランジスタなどに広く用いられている最も重要な基本構造である金属-絶縁物-半導体 (MIS) 構造の低温形成に関するものである。LSI のゲート絶縁膜として、二酸化シリコン膜よりも誘電率の高いシリコンオキシナイトライド膜が使用され始めている。従来シリコンオキシナイトライド膜は、シリコンや二酸化シリコン膜を NO や N₂O ガス中 1000°C 以上で加熱することによって形成されてきたが、高温加熱によるデバイス特性の劣化が問題となっている。アンモニア等のプラズマ窒化によって低温形成できるが、プラズマダメージが問題となる。本論文では、シリコンを KCN メタノール溶液に浸漬して 1~3 V の電圧を印加することによって、室温でシリコンオキシナイトライド膜を形成することに成功した。形成されたシリコンオキシナイトライド膜を持つ MIS ダイオードは、良好な電気特性を持つことを見出した。さらに、シリコンオキシナイトライド膜の低温形成機構に関する種々の知見を、光電子分光法を用いた観測から得た。

SiC は非常に安定な半導体であり、その熱酸化には 1100°C 以上の高温を要して、高温加熱のためデバイス特性が劣化するという問題点がある。本論文では、硝酸酸化法を用いて 120°C の低温で 3C-SiC を酸化して、SiO₂/SiC 構造を創製することに成功した。酸化膜厚は硝酸酸化時間と共に直線的に増加し、界面反応が律速過程であることを見出した。さらに、400°C の水素処理を酸化前に施すことによって SiC 表面が平坦化されることを見出し、水素処理後硝酸酸化を行うことによって良好な電気特性を得ることに成功した。さらに、水素処理により電気特性が改善される原因を、光電子分光法や原子間力顕微鏡を用いて解明した。

このように、本論文ではシリコンや SiC の低温酸窒化、低温酸化に関する基礎研究において重要な成果を挙げると共に、これらの反応が半導体デバイス製造に利用できる可能性を見出した。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。