

| | |
|---------|--|
| 氏名(本籍) | そめ たに みつる 染 谷 満 (大阪府) |
| 学位の種類 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 博 甲 第 5635 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 23 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 審査研究科 | 数理物質科学研究科 |
| 学位論文題目 | パワーデバイスに向けた堆積シリコン酸化膜の改質と熱シリコン酸化膜の高温信頼性 |
| 主査 | 筑波大学教授 工学博士 山 部 紀久夫 |
| 副査 | 筑波大学教授 博士(工学) 末 益 崇 |
| 副査 | 筑波大学教授 理学博士 山 崎 聡 |
| 副査 | 産業技術総合研究所招聘研究員 工学博士 荒 井 和 雄 |

論文の内容の要旨

パワーデバイスで使用される絶縁膜は、メモリ等の超高集積回路で使用されるゲート絶縁膜と比較すると、膜厚は厚く、印加電圧も高い。そして、自動車等への応用を想定しても、その信頼性に求められる仕様は大きく異なる。また、デバイスのプロセス温度も、極めて高く、集積回路での制限と大きく異なる。堆積絶縁膜は、集積回路では、低温処理で膜質改善を目的としていたため、熱酸化シリコン酸化膜の性能に近づくことすら、ほとんどできていないという背景がある。また、パワーデバイスでは、シリコン単結晶基板以外に、シリコンカーバイドやダイヤモンドなども検討されており、熱酸化法を成膜法として採用できない状況もあり、堆積シリコン酸化膜の膜質改善への期待は大きい。

許容プロセス条件、特に、熱処理温度により、堆積絶縁膜の絶縁特性がどの程度まで、改善できるのか、電気的特性改善をもたらす物理的な要因がなにであるかを、調査している。

第一章の序論につづき、第二章では、熱処理による TEOS 絶縁膜の膜質改善効果を調査し、リーク電流が 800℃以上の熱処理で、電気伝導が膜内部の欠陥起因から、界面のエネルギー障壁起因に移行することが明らかとなった。膜質改善の物理的根拠を探るべく、赤外吸収法での Si-O ネットワーク構造を調べ、熱酸化膜と同様に、成膜時に生じた圧縮応力が熱処理によって開放に向かうことが明らかとなった。その効果は、熱酸化膜と同様の傾向を示している。一方、エリプソメトリー(偏光解析)法により、膜の屈折率と膜厚の評価から、低温では原料 TEOS の未分解種が残存し、高温ではそれが排出され、結果として膜中には、空洞が発生し、膜密度および屈折率の低下が起こることが明らかにされた。空洞の変化は、陽電子消滅法により、確認できている。高温熱処理では、空洞が収縮し、膜密度および屈折率の増大が起こる。一方で、赤外吸収により空洞以外のネットワーク構造は成膜時の圧縮応力の緩和が進行し、電気的特性改善に繋がっている。屈折評価では、圧縮応力の開放は膜密度に減少に繋がることから、赤外吸収と屈折率への熱処理効果が一見矛盾するかのように見えるが、空洞の収縮効果の屈折率への影響がネットワーク構造の緩和を上回ったためと説明することができる。1200℃ 1 時間の熱処理で熱酸化に近づいているが、まだ有意差がある。これは、

熱処理時間の延長、もしくは熱処理温度の上昇により熱酸化膜により近づけることは可能であろう。

第三章では、パワーデバイスでは、集積回路より、厚いシリコン酸化膜が使われる。また、集積回路より、高温での使用となることを踏まえ、熱酸化シリコン酸化膜に対する高温動作での信頼性を調査した。400°C 近い高温では、一般的な評価装置では、装置自体に対するダメージが大きく、これまで評価が進んでいない。本研究では、電気的特性評価以前に、ほぼ自製の評価システムを構築している。その装置を用いて、電気的特性の信頼性試験を進めた。まず、種々の温度での定電流ストレス印加下でのゲート電圧の時間変化から、次のことが明らかとなった。低温域では、ストレス印加が進むと、注入電荷量に対して線形に印加電圧が増大し最終的に絶縁破壊に至る。これは、膜中での電子捕獲が、絶縁破壊に対して大きく関与していることを示唆している。ストレス温度の上昇に伴い、絶縁破壊寿命が短縮されるだけでなく、徐々に、短時間領域での逆方向のゲート電圧変化が顕著になり、やはり注入電荷量に対する線形性が顕著となっていき、正孔捕獲が絶縁破壊の支配要因となっていくようすがあきらかとなった。そして、それぞれの温度依存性の活性エネルギーの比較から、劣化の支配要因は異なるものであることが明らかとなった。このような結果は、長いシリコン酸化膜の信頼性研究の歴史でも、本研究で初めてである。今後、さらに詳細な研究が進めることが望ましいとされる。

審査の結果の要旨

堆積絶縁膜を熱酸化膜に代替する試みは過去にも多く報告されている。しかし、低温という枠内でなされたため、熱酸化膜の絶縁特性を凌駕することはできないとされてきた。しかし、本研究により、少なくとも1200°C程度の高熱処理を許容する場合には、熱酸化膜に近づけることができる見通しが得られたとする研究結果である。高熱処理効果の原因を追跡したことにより、今後、同様の効果を期待する他の改善法が提案されるきっかけとなるであろう。

また、高温での評価については、従来は、パッケージに装着して、オープン等で、過熱する手法が広く使われてきたが、原因の同定等を考慮すると、ウエハレベルでの評価が望まれていた。しかし、高温では、評価装置の耐久性等、種々の課題があり、一般的には、なされてこなかった。本研究では、ウエハサイズは小さいものの、ウエハレベルでの評価システムを構築し、多くの知見を得るに至っている点は評価に値する。

まだ種々の課題は残されているが、低温とは異なる機構が進行することを示したことは、さらに研究を進める方向付けを示したものであり、その工学的意味は大きい。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。