

論文の内容の要旨

論文題目 GaAs 電子デバイスの製造プロセスに関する研究
氏 名 齋藤 吉広

本研究では、GaAs 電子デバイスの高性能化・低コスト化を念頭に、デバイス製造プロセスにおけるいくつかの重要な問題の解決を目指した。

第1章では、半導体エレクトロニクス発展の歴史を俯瞰し、本研究の対象であるGaAsと電子デバイスの主流であるSiの物性面での比較を行なった。GaAsには高速性という長所の反面、組成変動/表面酸化物の不安定性/機械的強度の不足などの短所がある。これらが不純物濃度制御の困難さやスリップラインの発生など、GaAs特有の問題につながっていることを明らかにした。

第2章では、GaAsに注入されたSi不純物の活性化の問題に関し、過去の文献を基に概説した。GaAsへのn型不純物導入には、Siイオンを注入し、800°C以上のアニールにより活性化するというプロセスが広く用いられている。活性化とはSiがGaサイトに入ってドナーになることだが、プロセス条件によっては逆にAsサイトに入ってアクセプタになってしまう。具体的には、イオン注入後のレジスト除去に用いられるO₂プラズマプロセスにおけるGaAs表面の酸化、及び、アニール時のAs解離を防止するための保護膜の性質が、活性化に大きな影響を与えることが報告されている。メカニズムとしては、酸化によるGa空孔増加とGaAs表面エッチング、保護膜による応力と保護膜へのGa外部拡散が、それぞれ重要な要因と考えられている。これらは活性化に対して同時に寄与することが多いが、過去の研究ではその効果の切り分けは充分なされていなかった。この点を踏まえ、各効果を定量的に評価することを本研究の目標とした。

第3章では、 O_2 プラズマによる GaAs 表面酸化の活性化への影響を調べた。バレル式の O_2 プラズマ装置では複数枚のウエハがバッチ処理されるが、ウエハ間で注入層のシート抵抗 (R_{sh}) に大きな差が生じることが確認されている (図1)。そのメカニズムとしては、活性化率低下と GaAs 表面エッチングの2つが考えられた。

これを検証するため、数値計算により各効果の見積もりを行い、次に TEM 及び RBS を用いた分析実験で、その確認を行なった (図2, 3)。結果として、表面エッチング量には全く差がないこと、及び、酸化により Ga 空孔が増加し、活性化率低下につながっている可能性が高いことが明らかとなった。

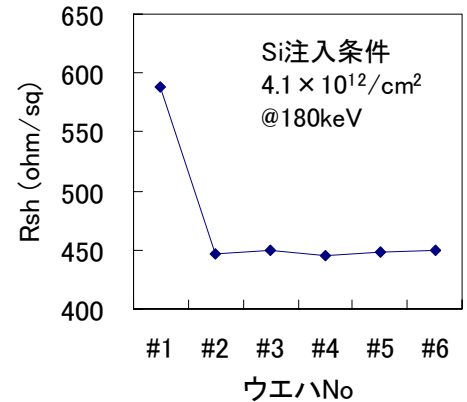


図1. ウエハ間でのシート抵抗の差

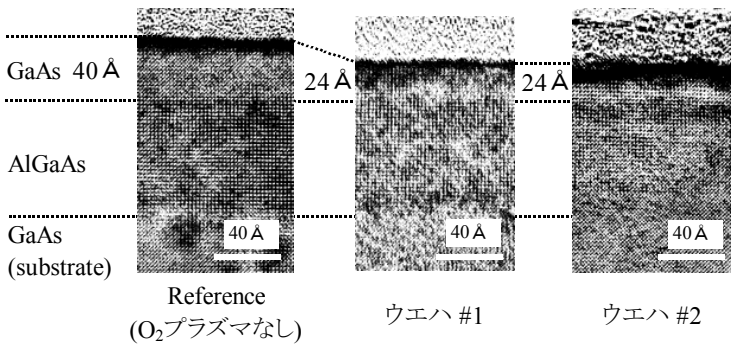


図2. TEMによる表面エッチング量の評価結果

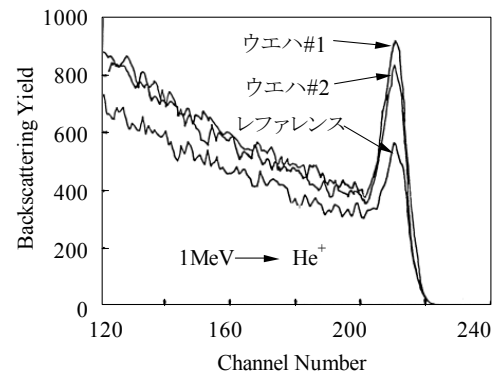


図3. RBSによる表面酸化物量の評価結果

第4章では、GaAs 表面酸化と Ga 外部拡散の影響を調べた。Ga 空孔増加に対しては、 O_2 プラズマによる酸化の他に、アニール中の Ga 原子の保護膜への拡散 (=外部拡散) も影響する。TEM/RBS データの詳細な解析、及び、TXRF と ICP 分析を組み合わせた Ga 外部拡散量の分析から、活性化率低下に対応して Ga 空孔濃度はウエハ間で約10倍の差が生じていることが推定された (図4)。

第5章では、窒化シリコン (SiN_x) アニール保護膜の活性化率への影響について調べた。プラズマ CVD で形成される SiN_x 膜は非晶質であり、その組成/構造と物性には大きなバリエーション

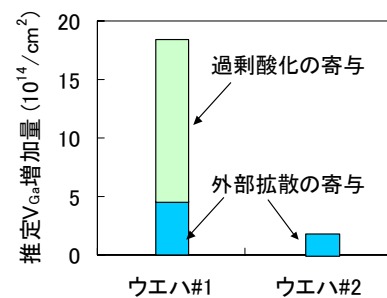
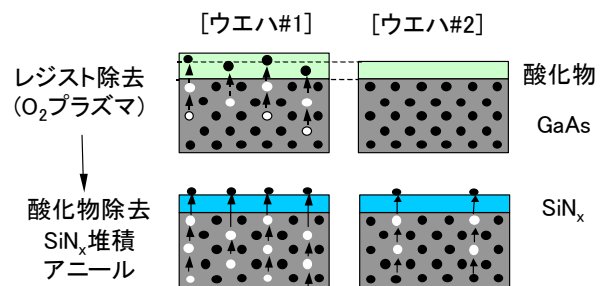


図4. Ga 空孔増加量の推定

ンがある。本研究では原料ガスである NH_3 流量を変えて SiN_x 膜の組成を変化させた場合、ストイキオメトリよりもやや N-rich な組成において活性化率が最大となることを見出した。さらにメカニズムを調べるため、高温応力と Ga 外部拡散量の評価を行い、活性化率に対して後者の方が支配的な要因であることが明らかにした(図 5, 6)。 SiN_x 膜構造との関係については、FT-IR などの分析結果から、高温応力は SiN_x 膜からの水素離脱と膜厚収縮に起因していることが分かった。Ga 外部拡散に対しては、アニール中の SiN_x 膜密度の増加、及び、 SiN_x 膜成長初期に発生すると考えられる GaAs 表面酸化物のエッチング、の 2 つの効果が寄与していることが推定された。

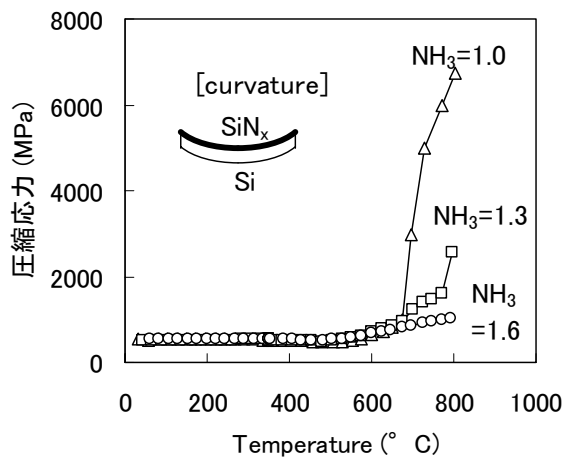


図 5. SiN_x 膜による高温応力の測定結果

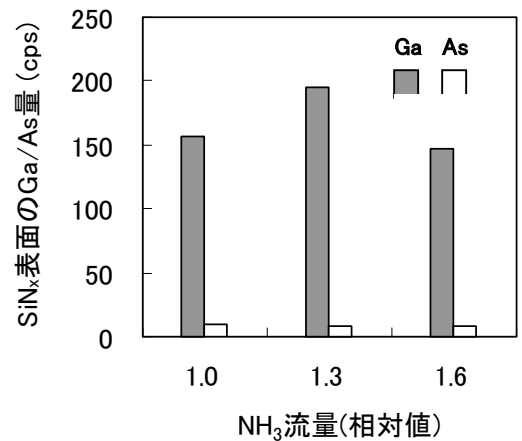


図 6. SiN_x 膜への Ga/As 外部拡散量

第 6 章では、 SiN_x 膜のもう 1 つの用途であるパッシベーション膜について、構造と性質を調べた。PE-CVD でのキャリアガスとして N_2 の他に He を添加することで SiN_x 膜の真性応力を低減できることが知られている。本研究では、応力低下に対応して、膜密度と屈折率が増加していることを実験により確認した。また、シンクロトロン放射光を用いた X 線回折測定を試み、非晶質 SiN_x 薄膜の動径分布関数を求めることに初めて成功した(図 7, 8)。これにより、PE-CVD による SiN_x 薄膜とゾルゲル法による非晶質 SiN_x (バルク材料)や Si_3N_4 結晶との構造の差異を捕えることができた。

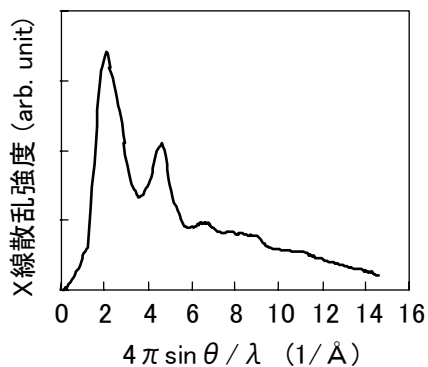


図 7. SiN_x 薄膜の X 線回折スペクトル

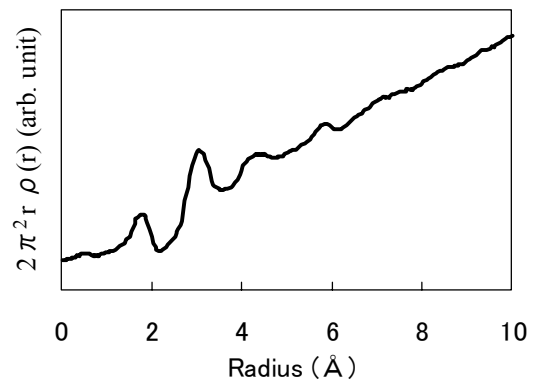


図 8. SiN_x 薄膜の動径分布関数

第7章では、GaAs ウェハ内のスリップライン抑制に取り組んだ。スリップは、アニール工程でのウェハ面内温度差が臨界値を越えると発生する。ファーネス方式のアニール装置を用いた場合、冷却過程で発生するウェハ面内温度差に関し、そのメカニズムを熱流体シミュレーションで解析し、それを基にいくつかの改善策を検討した(図9)。その結果、高熱伝導サセプタ材への変更、あるいは、冷却時の輻射熱抑制が、スリップ低減に有効であることを確認した。

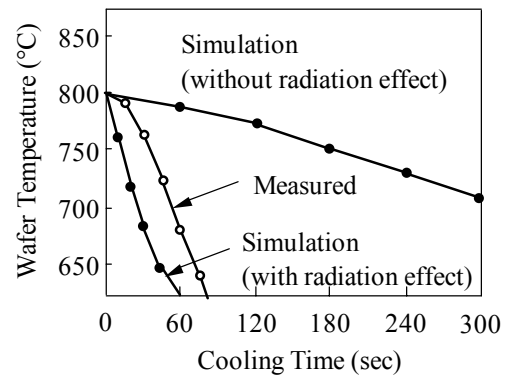


図9. ウェハ温度の実測値とシミュレーション結果の比較

発表状況

- (1) Y. Saito, T. Kagiya, and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.4924-4927
- (2) Y. Saito, T. Kagiya, and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.L1175-L1177
- (3) Y. Saito, S. Nakajima, and N. Shiga: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.2587-2591
- (4) Y. Saito and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.5450-5454
- (5) Y. Saito and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.L1495-L1497
- (6) Y. Saito, T. Hashinaga, N. Goto, and H. Nishizawa: Denki Kagaku 63. No. 6 (1995) pp.456-459
- (7) Y. Saito, Y. Tosaka, and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.L1391-L1393
- (8) Y. Saito and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.389-392
- (9) Y. Saito, T. Hashinaga, and S. Nakajima: IEEE Trans. Reliability, accepted for press.
- (10) Y. Saito and S. Nakajima: Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) pp.L1305-L1307