

高品質SIMOX (Separation by Implanted Oxygen) ウェーハ技術

Quality Improvement in SIMOX (Separation by Implanted Oxygen) Wafer Technology

松 村 篤 樹 ⁽¹⁾ Atsuki MATSUMURA	長 竹 洋 一 ⁽²⁾ Yoichi NAGATAKE	浜 口 功 ⁽²⁾ Isao HAMAGUCHI	高 山 誠 治 ⁽²⁾ Seiji TAKAYAMA
川 村 啓 介 ⁽²⁾ Keisuke KAWAMURA	水 谷 敏 行 ⁽²⁾ Toshiyuki MIZUTANI	佐 々 木 勉 ⁽²⁾ Tsutomu SASAKI	

抄 録

LSIの高速動作, 低消費電力動作を低コストにて実現可能とする低ドーズ系SIMOXウェーハは, 内部酸化 (ITOX: Internal Thermal Oxidation) 技術の適用により埋込酸化膜品質を改善するとともに, 部分空乏型, 完全空乏型の両デバイス動作に必要とされる $0.1\mu\text{m}$ 前後のシリコン層を, 8インチウェーハ面内において優れた膜厚均一性, 膜厚再現性にて提供することが可能となった。このITOX技術を用いた低ドーズSIMOXウェーハの品質改善状況について紹介した。

Abstract

Low-dose SIMOX (Separation by Implanted Oxygen) wafers bring high speed and low energy consumption operation of LSIs into reality at low costs. Quality improvement of said wafers produced by internal thermal oxidation (ITOX) process was reviewed. The ITOX process increases the thickness of buried oxide (BOX) as well as reduces the thickness of superficial Si layer (SOI layer) to approximately $0.1\mu\text{m}$ - a thickness level required for the operation of both the partially-depleted type and fully-depleted type devices - with excellent thickness uniformity across the surface of 200 mm diameter wafers and good reproducibility over production lots. The ITOX process was also found to have positive effects on BOX properties such as pinhole elimination and improved dielectric breakdown performance.

1. 緒 言

昨今の情報技術の急速な進歩に伴い, 情報端末機器の根幹をなす超LSI (Large Scale Integrated-circuits) にはより一層の性能改善が要求されるようになってきた。具体的には, 大量の情報を瞬時に取り扱うことを可能とするための高速動作の実現が要求されており, また環境問題の顕在化, 携帯機器の普及により低消費電力動作へのニーズも高まってきている。LSIの高性能化はこれまで, LSI製造における加工精度であるデザインルールの微細化により進められてきたが, デザインルールが $0.2\mu\text{m}$ 以下となるにつれ, 面内での微細化だけでは高速化などの性能向上に限界が生じるようになってきた。また単純な微細化により素子が高集積化するとLSI動作時の消費電力がかえって増加するなどの問題もあり, 総合的な見地からのLSI性能向上には, 従来の延長線上にとどまらない何らかの手段を講じる必要が生じてきている。

これらの限界を打破する材料として期待されているのがSOI (Silicon on Insulator) ウェーハである。SOIウェーハはその表面に基板と絶縁分離された薄いシリコン層を配する構造を有しており, そのシリコン層にデバイスを形成することにより高速動作, 低

消費電力動作の実現を可能とする。SOIウェーハの提案は1970年代まで遡るが, その優位性は認められながらも, コスト, 品質などの問題により, その実用化は宇宙用, 耐放射線応用などの分野に限定されていた。しかしながら1990年代中盤になると, デバイス技術の進歩に伴って現状技術の限界が認識されるようになり, SOIウェーハのLSI応用が本格的に検討され始めるようになった。さらに1998年央のIBMによる代表的SOIウェーハであるSIMOXウェーハを用いたMPU (Multiple Processor Unit) の量産計画発表以降, デバイスメーカ各社からSOIデバイス量産発表が相次ぎ, SOI時代の到来がよいよ現実的となってきている。

SOIウェーハの絶縁分離には, 通常シリコンの酸化層が用いられるが, その形成方法としては酸素イオン注入+高温アニールを用いるSIMOX (Separation by Implanted Oxygen) 法と, 2枚のシリコンウェーハを熱酸化膜を介して貼り合わせた後, 一方を薄膜化する貼り合わせ法に二分される。これらのうちSIMOX法を用いて作製したウェーハは, 表面シリコン (SOI) 層の膜厚均一性が, 特に $0.1\mu\text{m}$ レベルの膜厚領域において優れる点で注目されており, 低消費電力CMOSLSIの形成に適したウェーハとしての期待が高い。また, SIMOX法はその製造工程が, 酸素イオン注入とその後の高

⁽¹⁾ 先端技術研究所 半導体材料研究部 主任研究員 工博
山口県光市島田3434 ☎743-0063 ☎0833(72)5324

⁽²⁾ 先端技術研究所 半導体材料研究部 主任研究員

温アニールを主工程とする単純なプロセスにより構成されており、さらに、出発材料ウェーハ1枚でSOIウェーハ1枚が製造可能であるなど、量産時点での低コスト実現も期待できる技術である。

新日本製鐵は1989年以来約10年にわたってこのSIMOX法によるSOIウェーハの研究開発を行ってきた。特に新型のイオン注入機を導入した1995年以降は、量産対応可能な品質の実現を目指して研究開発を重点化してきている。本稿ではそのSIMOXウェーハ技術について概要を紹介した後、最近の品質改善状況について紹介する。

2. SIMOXウェーハ開発経緯

SIMOXウェーハの開発は1970年代の泉等の研究¹⁾に端を発する。当初開発された技術はいわゆる高ドーズSIMOXであり、酸素イオン注入において $1.5 \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ ものドーズ量を必要としたため、高温アニール後もSOI層の転位密度が 10^8cm^{-2} 程度と高いなど品質課題があった。またイオン注入時間が長く低コスト化が困難などの問題があったため、その適用分野は耐放射線用途や宇宙分野などに自ずと限定されていた。

1990年代になるとこの問題を克服すべく低ドーズSIMOXウェーハが登場、高ドーズに比べ約1/5程度の酸素ドーズ量でSIMOXウェーハの製造が可能となり、低コスト化が可能な技術として期待を集めた²⁾。しかしながら低ドーズSIMOXウェーハにおいては、埋め込み酸化層の厚さもドーズ量の低下に応じて薄くなるため、その電気特性の低下が懸念された。この低ドーズSIMOXの弱点である埋め込み酸化膜特性の改善に寄与したのが、高温での内部酸化を利用するITOX (Internal Thermal Oxidation) 技術である³⁾。ITOX技術を用いると埋め込み酸化膜の厚さが若干厚くなると同時にその品質も改善されるため、十分な電気特性を有する埋め込み酸化膜の形成が可能となる。このため、現在のSIMOXウェーハはこのITOX技術を用いた低ドーズ系SIMOXウェーハが主流となっている。

上述の技術の流れのなか、新日本製鐵は1989年からSIMOXウェーハの研究開発に着手しており、業界でも先駆的な位置付けをなしている。研究開始と同時に米国のEaton社より初の量産対応型SIMOXウェーハ製造用酸素イオン注入機であるNV-200⁴⁾を導入し、4インチから6インチまでの口径にて高ドーズSIMOXの研究開発を進める一方、少量ながらサンプル出荷も行った。その後1994年には、民生用途に適した低ドーズ系SIMOXに研究方針を変更、1995年にはITOX技術のライセンスを獲得した。さらに1995年末には、8インチまでの注入が可能となる新型イオン注入機UI-5000⁵⁾を導入し、ITOX-SIMOXウェーハの研究開発ならびにサンプル出荷を行ってきている。

現在新日本製鐵は、6インチおよび8インチのITOX-SIMOXウェーハを国内および海外の多数のユーザに提供しており、業界でも先行位置を維持している。またそれらのサンプル出荷に並行して開発を実施し、各種の品質改善を進めてきている。次節以降で新日本製鐵のITOX-SIMOXウェーハの技術概要ならびに品質改善状況について説明する。

3. ITOX-SIMOXウェーハ技術

3.1 製造プロセス

図1にITOX-SIMOXの工程概要を示す。プロセスは酸素イオン

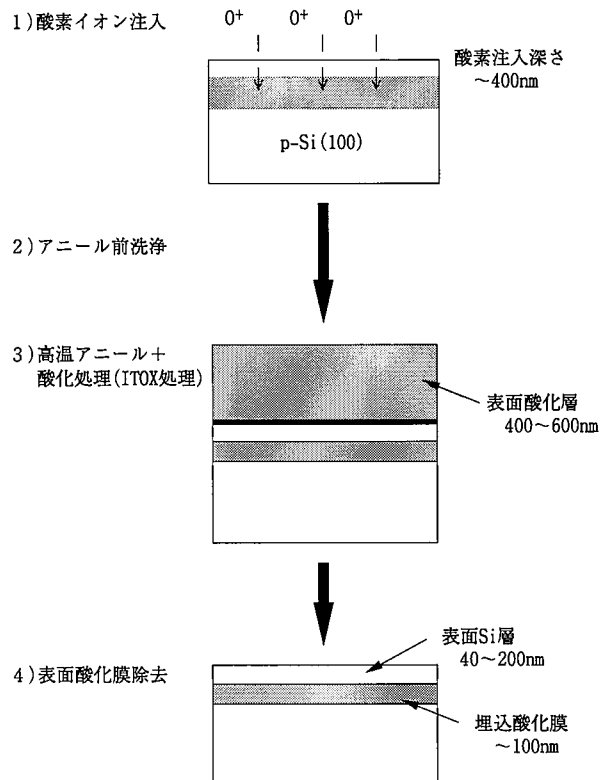


図1 ITOX-SIMOXウェーハ製造工程概略

注入と高温アニールに大別され、さらにそれらの工程間で洗浄を行う。以下、このSIMOXウェーハ製造の主工程である酸素イオン注入と高温アニールにおける技術ポイントについて概説する。

3.1.1 酸素イオン注入

酸素イオンのドーズと基板温度は埋込み酸化膜の源になる初期の酸素析出物の分布状態を左右し、連続かつSi粒子を含まない埋込み酸化膜を形成するために重要なパラメータである。注入エネルギー180keVの場合、連続した埋込み酸化膜が得られるドーズ範囲は、 $1.2 \times 10^{18} \text{ion/cm}^2$ 以上の高ドーズ領域と、 $3.0 \sim 4.5 \times 10^{17} \text{ion/cm}^2$ の範囲の低ドーズ領域となる⁶⁾。本稿で紹介するITOX-SIMOXは前述の通り低ドーズSIMOXに分類され、後者の範囲内のドーズ量を用いて作製する。注入中の基板温度については結晶性の維持の観点から高温に保持することが望ましく、さらに電流リークのない良好な埋込み酸化膜を得るために550℃～650℃の範囲の温度を用いている⁷⁾。

薄膜SOIを用いるCMOSデバイスにおいては、膜厚均一性の確保が必須である。膜厚均一性 $\pm 2 \text{nm}$ の実現には、酸素イオンの平均飛程に対して $\pm 0.5\%$ 、ドーズに対して $\pm 2\%$ 以内に変動を制御する必要がある。このような厳しい均一性を実現するために、イオンビームの加速電源の精度と安定性、ドーズ計測の精度、イオンビームの均一な走査、チャネリングの抑制、基板面内の温度分布の均一化等に十分な配慮をしている。

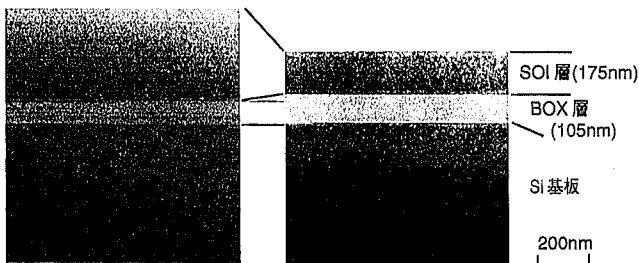
SIMOX製造における酸素イオン注入においては、デバイス製造用のイオン注入に比べ2～3桁高いドーズ量が必要となる。そのためSIMOX用酸素イオン注入機にはスルーputt向上の観点から大電流イオンビームが必要となる。NV-200、UI-5000ともにECRを利用したイオン源が適用されており、100mA級のイオンビームが得られる構成となっている。

3.1.2 高温アニール

酸素イオンが注入されたウェーハは所定の洗浄工程を経た後、高温アニール処理が施される。アニール処理は2ステップに大別され、前段の非酸化性雰囲気アニール(面荒れ防止のため1%以下の O_2 添加)にて、イオン注入がもたらした結晶の乱れを回復させるとともに埋込み酸化膜構造の形成を行う。後段の酸化処理がいわゆるITOX処理³⁾であり、内部酸化により埋込み酸化膜を厚膜化し品質改善を図ると同時に、表面に熱酸化膜が形成されることによりSOI層の薄膜化が行われる。処理温度は結晶性回復および埋込み酸化膜品質の観点から1300℃以上の高温が用いられる⁷⁾。この温度域での高温アニールにおいてはシリコンの結晶強度の低下に伴うスリップの発生が懸念されるが、ウェーハ保持方式を工夫することによりスリップの発生を防止している。

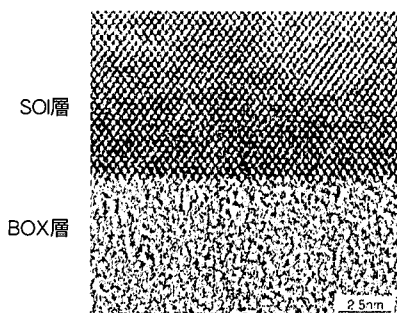
3.2 膜構造

アニール処理完了後のウェーハ断面のTEM観察像を写真1に示す。比較のためITOX処理を施さない低ドーズSIMOXウェーハの断面も示した。ITOXプロセスによりBOX膜が厚膜化する一方、SOI層は表面酸化膜の形成により薄膜化されている。(b)の拡大図においては、SOI層に完全な格子像が見られると同時に、SOI/BOX界面についても遷移層のない急峻な界面が実現されているこ



低ドーズSIMOX (ITOXなし) ITOX-SIMOX (ITOX量: 20nm)

(a) ITOXなしウェーハとITOXウェーハの比較(表面酸化膜除去後)



(b) ITOX-SIMOXウェーハのSOI層/BOX層界面部分の拡大写真

写真1 ITOX-SIMOXウェーハの断面構造(透過電子顕微鏡写真)

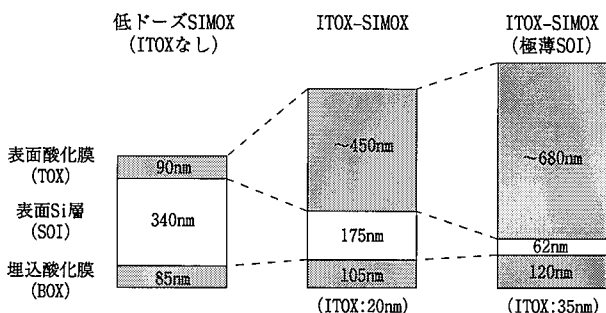


図2 ITOX-SIMOXウェーハにおける層構造の関係

とが分かる。ITOX処理はSOI表面およびSOI/BOX界面のラフネス改善にも効果があることが確認されている⁸⁾。

SOI膜厚についてはITOX酸化時間により調整可能である。ITOX時間を変えた場合の各層の厚さの一例を図2に示した。

4. ITOX-SIMOXウェーハ品質について

4.1 膜厚均一性

薄膜SOIデバイスは完全空乏型デバイスに代表されるように、そのトランジスタ閾値がSOI膜厚に依存するので、膜厚の均一性は大変重要である。図3に分光エリブソメトリにより測定した8インチITOX-SIMOXウェーハのSOI層、BOX層の膜厚均一性を示す。(a)は部分空乏型動作向けのSOI厚175nmの場合であり、膜厚均一性として $\pm 2\text{nm}$ 以内が得られている。(b)および(c)は完全空乏型向けであり、SOI厚がそれぞれ62nm、42nmに対応している。(a)と同様に $\pm 2\text{nm}$ 程度の良好な均一性が実現されており、ITOX時間の調整のみで50nm以下のSOI厚も良好に形成可能であることが分かる。

膜厚の再現性は量産において重要な品質の一つである。図4には8インチITOX-SIMOXウェーハのSOI厚170nmの品種におけるSOI膜厚のロット間ばらつきを示す。図5には6インチSOI厚62nm品における同様の特性も示した。酸素イオンの注入量とITOX酸化量の双方を厳密に制御することにより、良好な再現性が実現されている。

4.2 金属汚染

イオン注入機の汚染防止対策、治具の高純度化などを強化した結果、SOI層の金属汚染レベルとしては原子吸光分析での検出下限以下($\leq 2 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$)が安定実現されている。また、SIMOXウェー

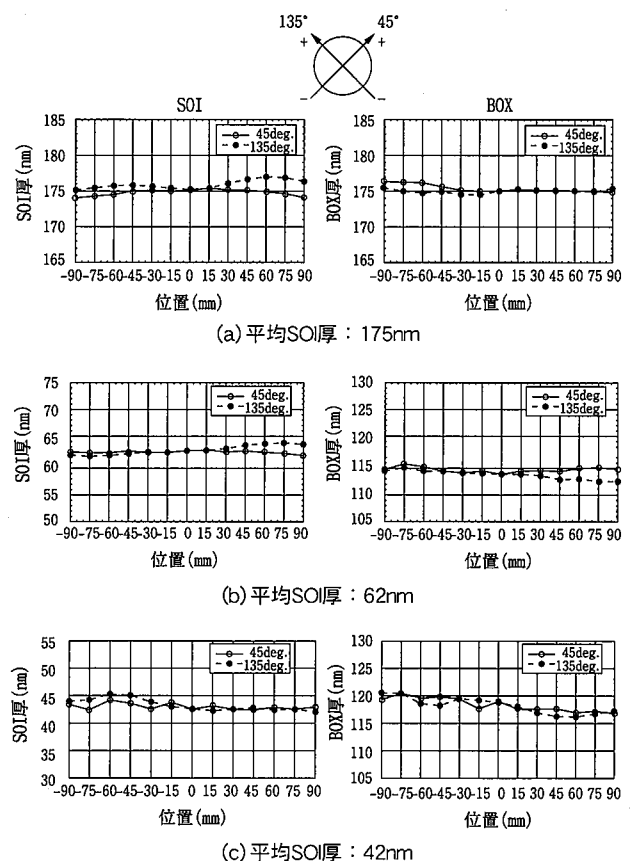


図3 8インチITOX-SIMOXウェーハの膜厚面内分布

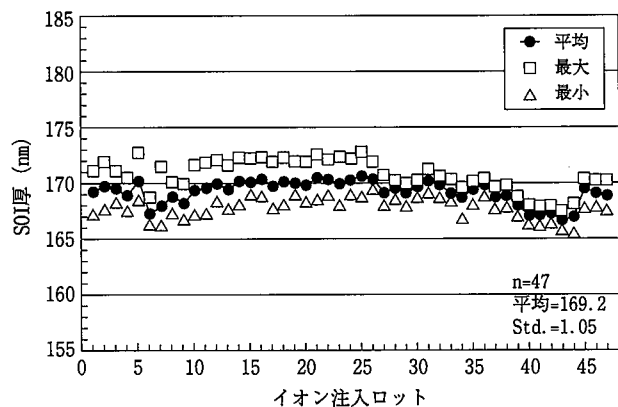


図4 ITOX-SIMOXウェーハのSOI厚ロット間ばらつき(8インチ, SOI厚: 170nm品)

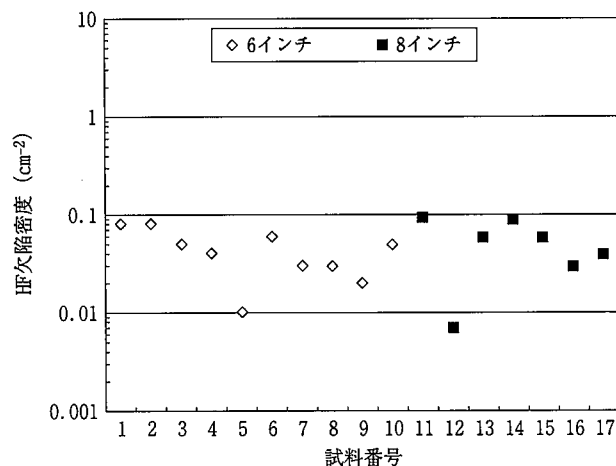


図6 SOI厚: 170nm品におけるHF欠陥密度

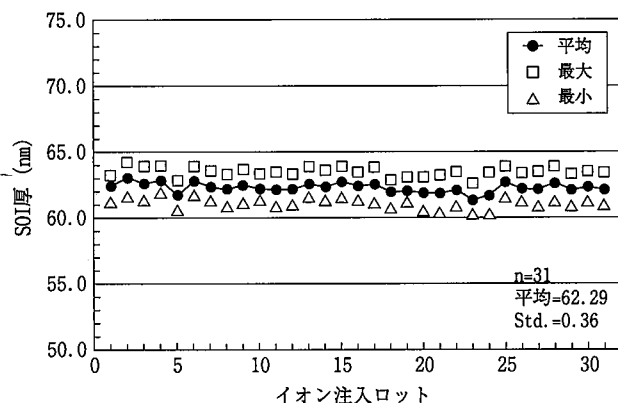


図5 ITOX-SIMOXウェーハのSOI厚ロット間ばらつき(6インチ, SOI厚: 62nm品)

ハはBOX層下部に存在する結晶欠陥にゲッター能力があることが分かっており⁹⁾, デバイス製造工程における金属汚染の除去能力も有することが確認されている。

4.3 SOI層結晶性

SIMOXウェーハのSOI層に観察される主な結晶欠陥は, 貫通転位とHF欠陥である。貫通転位はセコエッチング+HF処理により評価され, 低ドーズSIMOXの場合は転位密度は $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^{-2}$ 程度であることが確認されているが, これらの転位のデバイス特性への影響は未だ明確になっていない。

HF欠陥はウェーハをHFを含む薬液に浸漬した際に, SOI層の欠陥を通じてその下のBOX膜がエッチングされることにより発生する。その実体は金属シリサイドとの説があるが¹⁰⁾, 貼り合わせ基板においても同様の欠陥が観察されており¹¹⁾, ボイドや酸素析出物などの結晶欠陥の可能性もある。HF欠陥はゲート酸化膜の信頼性を低下させることから, その密度低減は必須の課題である。ITOX-SIMOXウェーハについては, 25%HF溶液にて3.5時間のエッチングによるHF欠陥評価において, 0.3 cm^{-2} 以下の密度が実現されている。特に部分空乏型デバイス向けの170nm前後のSOI厚仕様においては, HF欠陥密度として 0.1 個/cm^2 以下が安定して得られるようになっている。評価の一例として, 最近のSOI厚170nm品についてHF欠陥密度を評価した結果を図6に示す。全てのサンプルにおいて 0.1 個/cm^2 以下の良好な値が得られていることが分かる。

4.4 ITOXによるBOX層品質改善

冒頭にも述べたように, 低ドーズSIMOXウェーハの問題点は薄

いBOX膜の電気特性にある。以下では, ITOX法によるBOX品質改善状況について紹介する。

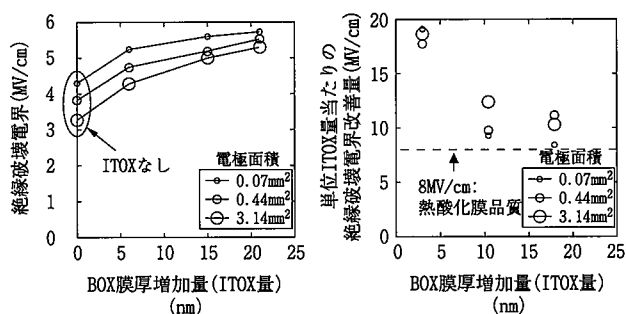
4.4.1 BOXリーク欠陥

BOX膜品質に関する重要な技術課題の一つはリーク欠陥の低減である。BOX膜リーク欠陥発生の最大原因は, イオン注入中にウェーハ表面に付着するパーティクルによる注入イオンの遮蔽にあると考えられており, 注入パーティクルの低減が最大の課題となっている。

一方, 注入された酸素イオンは散乱によりある程度拡散することから, リーク欠陥を引き起こすパーティクルにはサイズ閾値が存在すると考えられている。ITOX処理を伴わない従来型の低ドーズSIMOXにおいては, 粒径 $0.28 \mu\text{m}$ 以上のパーティクルはリーク欠陥原因となることが指摘されている⁶⁾。一方, ITOX-SIMOXにおいては, 内部酸化によりある程度のリーク欠陥は埋め戻されることが明らかとなった¹²⁾。現在用いているITOX量においては, 粒径 $1 \mu\text{m}$ 近くまでのパーティクルによるリーク欠陥は埋め戻されている可能性があり, ITOX処理はリーク欠陥低減にも効果があることが分かっている。

4.4.2 BOX絶縁耐圧特性

もう一つの重要課題はリーク欠陥のない部分でのBOX膜の絶縁耐圧性である。SIMOXウェーハのBOX膜には熱酸化膜と比べて絶縁耐圧に劣るという問題が指摘されており, この原因としてはBOX膜中の微小なシリコンの粒子(シリコン島と呼称)が寄与している可能性が示唆されていた¹³⁾。我々はBOX膜の絶縁耐圧特性を詳細に調査し, このシリコン島がBOX絶縁耐圧低下に関係していること



(a) ITOX量とBOX絶縁耐圧との関係 (b) ITOX量当たりのBOX耐圧改善量

図7 ITOXによるBOX絶縁耐圧改善

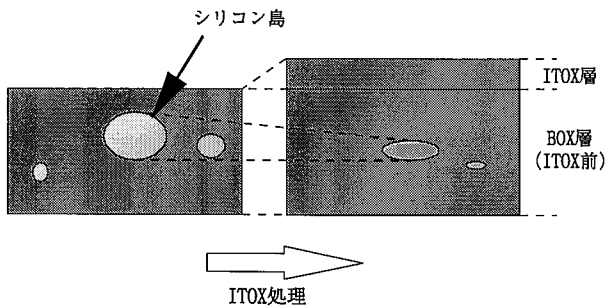


図8 ITOXプロセスによるBOX品質改善の様子(概念図)

表1 ITOX-SIMOXウェーハの品質一覧

品質項目	品質値	評価方法
膜厚範囲(nm)	SOI: 40~200* BOX: ~100	分光エリブソメトリ
膜厚均一性(nm)**	SOI: ± 2.0 BOX: ± 2.0	分光エリブソメトリ
HF欠陥(cm^{-2})	SOI厚170nm品: < 0.1 SOI厚62nm品: < 0.3	
SOI層貫通転位(cm^{-2})	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$	セコエッチング
BOXピンホール(cm^{-2})	< 1.0	銅電析法
BOX絶縁耐圧(V)	40~80	
金属汚染(atoms/ cm^2)	$< 2 \times 10^{10}$	原子吸光分析
マイクロラフネス(R_a) (nm)	SOI表面: 0.4 SOI/BOX界面: 0.5	AFM
反り(Warp) (μm)	< 30	(200mmウェーハ)

*ITOX処理時間にて調整可能 **200mmウェーハ面内

を定量的に明らかにしている^{14,15)}。

また、ITOX処理においてはBOX膜の厚膜化により絶縁耐圧が改善されると考えられてきたが、この点を定量的に確認する目的でITOX量とBOX絶縁破壊電界の改善量の相関を調べたところ、図7に示すように、ITOX量15nmまではBOX膜厚増分(ITOX量)当たりの絶縁耐圧改善量が熱酸化膜のそれよりも大きいことが明らかとなった¹²⁾。これは、ITOX処理による内部酸化によりBOX膜が厚膜化すると同時に、BOX中のシリコン島についてもサイズの減少もしくは消滅が起こっている可能性を示しており(概念図: 図8)、ITOX処理がBOX耐圧改善に対して極めて有効であることを示している。実際、BOX耐圧特性から導出したシリコン島サイズおよび密度の解析結果において、ITOXによる上記効果が確認されている¹⁵⁾。

このシリコン島密度はイオン注入におけるドーズ量を微妙に調整することにより低減可能である。シリコン島密度を低く抑えた上で、ITOX量を増加させて作製したサンプルにおいて、熱酸化膜に匹敵する8 MV/cm程度の値が、絶縁電圧として60~80Vの値が実現可能であることが確認されている¹⁴⁾。

なお、BOX膜のシリコン島評価ならびにBOX耐圧改善の詳細に関しては本書掲載の別報告にて紹介するので、そちらを参照されたい¹⁶⁾。

4.5 総合品質

以上述べてきたように、ITOX処理によりSIMOXウェーハの品質は量産対応可能なレベルにまで改善されてきた。表1に現在のITOX-SIMOXウェーハの品質一覧を示した。

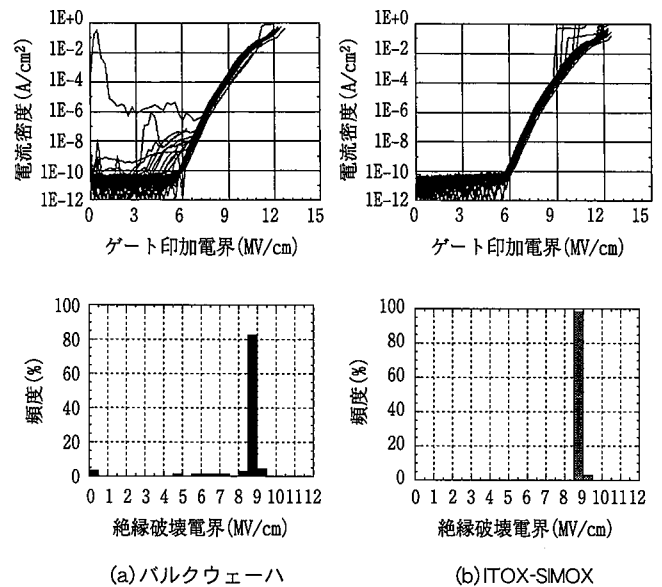


図9 ゲート酸化膜耐圧特性(TZDB)

ゲート酸化膜厚: 24 nm, 電極面積: 1mm², 判定電流: 1mA

5. ゲート酸化膜耐圧特性

デバイス動作にとってゲート酸化膜耐圧特性は最重要指標の一つである。図9にバルクウェーハとその基板を用いて製造したITOX-SIMOX基板のゲート酸化膜耐圧特性を示す¹⁷⁾。ゲート酸化膜厚は結晶欠陥評価の観点から若干厚めの24nmを用い、キャパシタ面積は1mm²、評価手法はTZDB(Time-Zero Dielectric Breakdown)、絶縁破壊判定電流は1mAを用いた。SIMOXウェーハではバルクウェーハで多少存在するBモード不良(絶縁耐圧4~8MV/cm)が見られず、良好な特性が得られている。バルクウェーハにおけるBモード不良の原因はCOP等のgrown-in欠陥であると考えられており¹⁸⁾、SIMOXウェーハでは製造プロセスにおける高温熱処理によりこれらの欠陥が消滅もしくは無害化したものと考えられる。

実際のLSIでは10nm以下の厚さのゲート酸化膜が用いられており、その品質評価は通常、TDDB(Time-Dependent Dielectric Breakdown)により行われる。SIMOXウェーハのTDDB特性評価については本書掲載の別報告にて紹介するので、そちらを参照されたい¹⁶⁾。

6. 今後の展望

低ドーズSIMOXウェーハはITOX処理などの技術革新により、これまで説明してきた品質改善を果たしてきた。残された問題についても今後、早急に解決していきたいと考えている。

品質面においてはBOXピンホールの低減が必要であり、イオン注入機により一層のブラッシュアップによるパーティクル数の低減化、熱処理技術の最適化などにより、ピンホール密度0.1個/cm²以下の実現を目指す。貫通転位やHF欠陥などについても製造プロセス条件の改善により、さらなる低減が可能と考えている。また、スタート結晶の品質調整による品質改善も見込まれる。

コスト低減については既に述べたように、SIMOXは出発材料ウェーハ1枚からSIMOXウェーハ1枚が製造可能であり、ウェーハ材料コストは原理的に問題にならない。イオン注入機の生産性向上による製造コスト低減が低コスト化のポイントである。この点についても現在、検討が進められている。

7. 結 言

ITOX技術は低ドーズSIMOXウェーハのBOX品質改善を可能とし、BOXの絶縁耐圧特性として熱酸化膜に匹敵する品質を実現した。また50nm前後の厚さの超極薄SOI層も良好に形成可能であり、低消費電力CMOSLSI向け高品質SIMOXウェーハの提供を可能にしている。膜厚の再現性など量産レベルの品質も実現されつつある。今後はカスタマサイド、装置メーカーサイドとの連携をより密接にすることにより、さらなる品質向上、安定供給体制の確立を図っていききたい。残された課題の早期解決により、SOIウェーハの量産を早期に実現したいと考えている。

参考文献

- 1) Izumi, K., Doken, M., Ariyoshi, H. : Electron. Lett. 14, 593(1978)
- 2) Nakashima, S., Izumi, K. : Electron. Lett. 26, 1647(1991)
- 3) Nakashima, S., Katayama, T., Miyamura, Y., Matsuzaki, A., Taoka, M., Ebi, D., Imai, M., Izumi, K., Owada, N. : Electrochem. Soc. 143, 244 (1996)
- 4) Ruffell, J., Douglas-Hamilton, D., Kaim, R., Izumi, K. : Nucl. Instr. Meth. B21, 229(1987)
- 5) Tokiguchi, K., Yamashita, Y., Seki, T., Hashimoto, I. : 1996 ECS International Symposium on SOI Technology and Devices. 1996, p.28-33
- 6) Nakashima, S., Izumi, K. : J. Mater. Res. 8, 523(1993)
- 7) Nakajima, T., Yano, T., Hamaguchi, I., Tachimori, M., Fujita, T. : Proc. 1994 IEEE Int. SOI Conf. 1994, p.81
- 8) Katayama, T., Nakashima, S., Miyamura, Y., Kataoka, M., Denbata, M., Imai, M., Izumi, K., Ohwada, N. : Proc. 1994 IEEE Int. SOI Conf. 1994, p.75
- 9) 林俊一, 水谷敏行, 水尾有里, 田中幸基 : SIMOXウェーハの金属不純物のゲッタリング特性. 新日鉄技報. (373), (2000)
- 10) Sadana, D. K., Lasky, J., Hovel, H. J., Petrillo, K., Roitman, P. : Proc. 1994 IEEE Int. SOI Conf. 1994, p.111
- 11) Mitani, K., Aga, H., Nakano, M. : Jpn. J. Appl. Phys. 36, 1646(1997)
- 12) Kawamura, K., Nakajima, T., Hamaguchi, I., Yano, T., Nagatake, Y., Tachimori, Y. : Proc. 1995 IEEE Int. SOI Conf. 1995, 156
- 13) Nakashima, S., Harada, M., Tsuchiya, T. : Proc. 1993 IEEE Int. SOI Conf. 1993, 14
- 14) Kawamura, K., Matsumura, A., Yano, T., Hamaguchi, I., Nagatake, Y., Takayama, S., Tachimori, M., Kurumada, K. : Proc. 1997 IEEE Int. SOI Conf. 1997, 122
- 15) Kawamura, K., Yano, T., Hamaguchi, I., Takayama, S., Nagatake, Y., Matsumura, A. : In Extended Abstract of 1998 International Conference on Solid State Devices and Materials. Hiroshima, September 1998 : Jpn. J. Appl. Phys. 38, 2477(1999)
- 16) 川村啓介, 松村篤樹 : SIMOXウェーハの電気特性評価. 新日鉄技報. (373), (2000)
- 17) Kawamura, K., Deai, H., Morikawa, Y., Sakamoto, H., Yano, T., Hamaguchi, I., Takayama, S., Nagatake, Y., Matsumura, A., Tachimori, M., Nakashima, S. : Proc. 1996 IEEE Int. SOI Conf. 1996, p.162
- 18) Deai, H., Iwasaki, T., Ikematsu, Y., Kawakami, K., Harada, H., Matsumura, A. : Jpn. J. Appl. Phys. 35, L1476 (1996)