

平成 年 月 日

氏名 笹川 将



21世紀 COE プログラム

拠点：大学院工学系研究科

応用化学専攻、化学システム工学専攻、
化学生命工学専攻、マテリアル工学専攻

“化学を基盤とするヒューマンマテリアル創成”

平成15年度リサーチ・アシスタント報告書

ふりがな 氏 名	ささがわ まさし 笹川 将	生年 月 日
所属機関名	東京大学大学院工学系研究科材料学専攻	
所在地	〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 電話 03 (5841) 7161	
申請時点での 学年	博士課程 3 年	
研究題目	高誘電率ゲート絶縁膜を用いた MIS 特性制御の研究	
指導教官の所属・氏名	大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 鳥海 明 教授 弓野健太郎 講師	

I 研究の成果 (1000字程度)

(図表も含めて分かりやすく記入のこと)

2003年4月以降も引き続き高誘電率ゲート絶縁膜の物性に関する研究を続けています。高誘電率ゲート絶縁膜を ULSI に実用化するためには熱プロセスにより電気特性の理解は最も重要なポイントとなっております。現在、熱処理を行った際に Si 基板と高誘電率膜の界面で反応が起こる事はよく知られており、その反応過程についても注目されております。また、界面反応が避けられない問題である以上、界面に酸化膜を数原子層分だけ挟んで、その上に高誘電率絶縁膜を堆積するという試みもされています。

本研究においては、このような立場から熱プロセスを通した時の高誘電率絶縁膜と下地の反応による電気特性の変化に着目しております。研究では高誘電率ゲート絶縁膜として実用化の有力候補である HfO_2 膜と、下地には Si 基板を熱酸化した SiO_2 膜を用いて電気特性を評価する事にしました。Si 基板とその熱酸化膜の界面の電気特性は非常に優れていると言われておりますが、この熱酸化膜の上に HfO_2 膜を堆積して熱処理を行った時に、この熱酸化膜(SiO_2 膜)と HfO_2 膜の間で Si 原子や Hf 原子の相互拡散が起こり Si 基板と熱酸化膜の界面の電気特性に変化が起きる事が考えられ、これを定量的に求める事で Hf 原子や Si 原子の拡散のメカニズムを理解し、高誘電率ゲート絶縁膜の熱プロセスに対して重要な知見を得られると考えています。

図1に熱酸化膜の上に HfO_2 膜をスパッタにより堆積した後に 800°C 酸素雰囲気中で 800°C で熱処理した時の SIMS の特性を示します。熱処理の前後で下地の SiO_2 膜から Si 原子が HfO_2 膜中へ拡散している事が確認できます。この Si 原子の拡散により下地の熱酸化膜の電気特性の変化を調べました。電気特性の評価方法としてここではコンダクタンス法を利用しました。コンダクタンス法は図2のような等価回路を仮定して、測定したインピーダンスから Si 基板の電気抵抗と絶縁膜容量を引く事により界面準位を求める方法です。図2の等価回路を図3に示します。

この時、 $G_p/\omega = \omega \tau C_0 / (1 + \omega^2 \tau^2)$ となり G_p/ω の最大値から界面準位を求める事ができます。

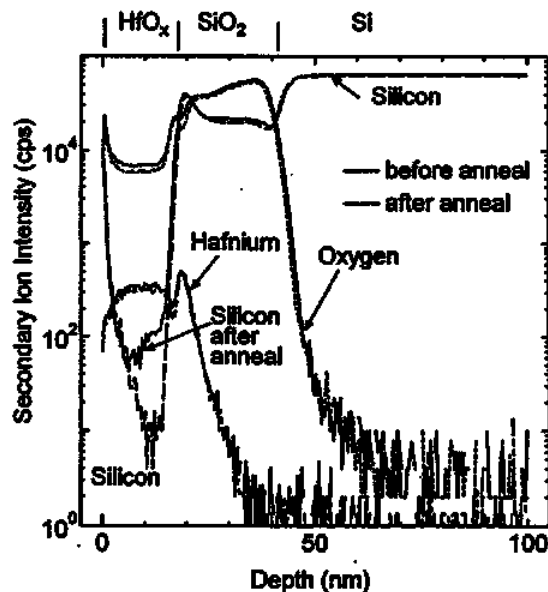


図1 熱処理前後の SIMS の特性変化

I 研究の成果 (1000字程度)

(図表も含めて分かりやすく記入のこと)

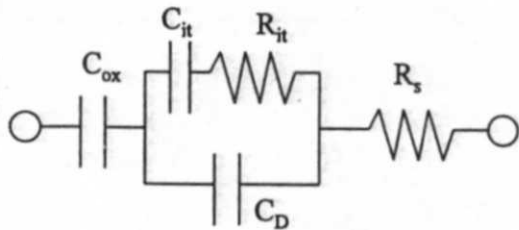


図2 コンダクタンス法適用に使用した等価回路

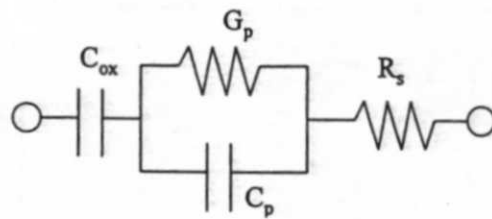


図3 図2の等価回路

この方法を Si 基板を熱酸化した膜について適用した結果を図4に示します。この G_p/ω のピーク値から求めた界面準位は $5.0 \times 10^{10} (\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2})$ です。この SiO_2 膜の上に HfO_2 をスパッタし窒素雰囲気中 800°C で30秒間アニールをした後の特性を図5に示します。この結果から求めた界面準位は $8.5 \times 10^{11} (\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2})$ となりました。熱処理を行う事で、下地の熱酸化膜の表面のみならず基板の Si との界面の欠陥が1桁増加しているという事が示せました。

この界面準位に注目して、熱処理温度を変化させた時の特性を図6に示します。下地の熱酸化膜は2.6nmのサンプルと7.0nmのサンプルについて評価しました。アニールは窒素雰囲気で行いました。この結果、アニール温度が上がるにつれて界面準位が増えていく事が解ります。また熱酸化膜の膜厚が厚い場合の方が界面準位が少なく、 SiO_2 と HfO_2 の反応の効果が少なくなっていると考えられます。この結果から、界面準位の増加には SiO_2 と HfO_2 の反応が影響していると考えられます。

次に図7には酸素1%、窒素99%の雰囲気中でアニールしたときの界面準位の変化について示します。アニール温度が低い時には窒素雰囲気中でのアニールの時と同様の結果が得られましたが、アニール温度が高いときに

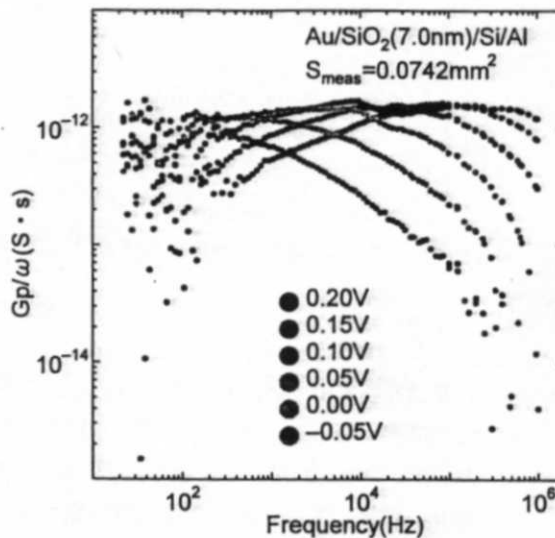


図4 熱酸化膜の G_p/ω の周波数依存性

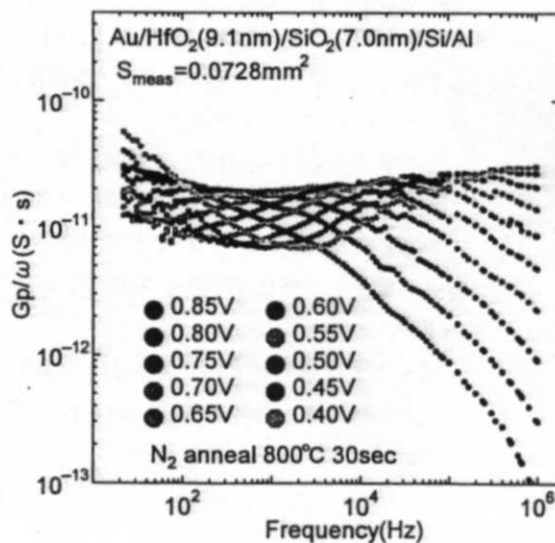


図5 HfO_2 を堆積し熱処理後の G_p/ω 特性

I 研究の成果 (1000字程度)

(図表も含めて分かりやすく記入のこと)

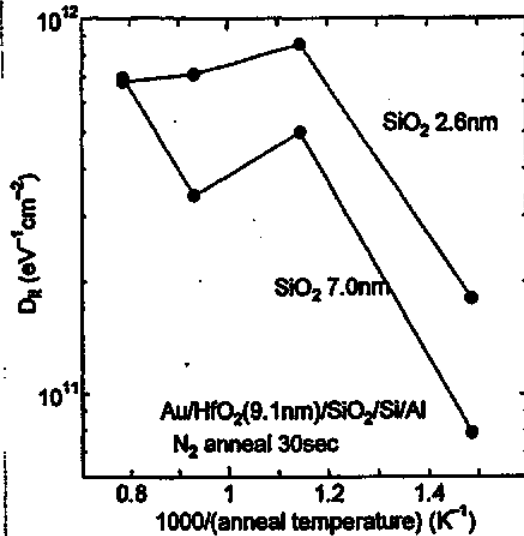


図6 界面準位の窒素アニール温度依存性

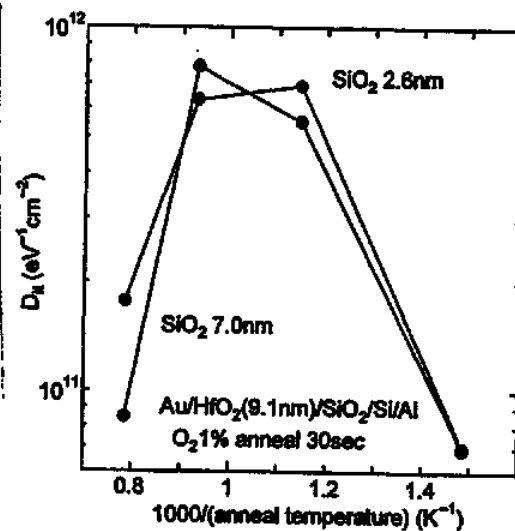


図7 酸素1%雰囲気アニールした時の界面準位

は窒素雰囲気中でアニールした時と違って界面準位が減少するという結果になりました。この結果から、アニールをしている際に雰囲気中にある酸素の効果が見えていると考えられます。アニールにおいて酸素は HfO₂ 膜中をラジカル状態で拡散していくと考えられており、低温でアニールした時には酸素ラジカルが膜中を拡散していき界面反応がすすんでいると考えられますが、アニール温度が高い時には酸素分子が界面まで直接拡散して界面反応をしていると考えられます。これにより界面欠陥の形成プロセスが変化していると考えられます。界面反応が起きている証拠として、酸素を1%雰囲気中で1000℃でアニールした時には、絶縁膜の電気容量が5%程度減少しており、界面に誘電率の低い SiO₂ 膜が形成されていると考えられます。

この図6と図7を比較した時に、窒素雰囲気中でアニールした時には熱酸化膜の厚さによって界面準位の大きさに変化がありました。ところが、酸素を含んだ雰囲気中でアニールをした時には熱酸化膜の厚さに対する依存性が小さくなっています。これはアニール雰囲気を変化した時に Hf 原子や Si 原子の拡散過程が変化している事を示していると考えています。

現時点では得られている結果からは新たな知見を確実できるレベルまでは到達していませんが、残り5ヶ月半で十分に信頼性の高い結果を集めていけると考えています。

氏名

笹川 将

- II (1) 学術雑誌等に発表した論文（掲載を決定されたものを含む。）
共著の場合、申請者の役割を記載すること。
（著者、題名、掲載誌名、年月、巻号、頁を記入）

なし

氏名

笹川 将

II (2) 学会において申請者が口頭発表もしくはポスター発表した論文
(共同研究者(全員の氏名), 題名, 発表した学会名, 場所, 年月を記載)

なし