

枚葉回転湿式技術による半導体表面処理に関する研究

木下, 圭 / KINOSHITA, Kei

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

218

(発行年 / Year)

2015-03-24

(学位授与番号 / Degree Number)

32675乙第216号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2015-03-24

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011060>

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	木下 圭
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	第 573 号
学位授与の日付	2015 年 3 月 24 日
学位授与の要件	本学学位規則第 5 条第 1 項(2)該当者(乙)
論文審査委員	主査 教授 山本 康博 副査 教授 中村 徹 副査 教授 栗山 一男

枚葉回転湿式技術による半導体表面処理に関する研究

1. 論文内容の要旨

最先端半導体素子の高速化、微細化により、より高機能な半導体製造技術の開発が強く求められている。そのような状況の中、半導体基板湿式処理は半導体製造全工程数で4割近い工程を占めており、今後も増え続けると考えられる。つまり、現在、歩留りを含めた半導体素子の性能を最も大きく左右するのは、洗浄技術であると言える。したがって、この分野での更なる技術の高機能化が強く求められている。しかし、微細化の進展とともに、微小粒子汚染の増大、新材料による汚染、電氣的ダメージなど、洗浄技術の向上は飛躍的に難しくなってきた。更に、環境問題にも配慮しなくてはならないという課題もある。したがって、このような課題を克服するため、液体と物質との界面における反応を分子・原子レベルから解明し理解する科学的な手法の開発が必要不可欠となっている。その一つの解答として、様々な新材料に対してエッチングの均一性、表面の洗浄度、乾燥状態の優れた性能を得ることが可能な枚葉回転湿式処理技術に注目が大きく集まっている。しかし、枚葉回転湿式処理技術の開発はまだ十分とは言えず、高い処理性能を有しているにもかかわらず、利点が有効に活用されていないのが現状である。

本論文では、そのような要求に対応するため、枚葉回転湿式処理の高機能化について考察し、様々な工程への応用を可能とする新たな手法の開発を行い、一連の研究成果を統括している。

第1章では、湿式処理技術の最新動向と本研究のそれぞれの課題についての背景と目的を説明している。

第2章では、本研究で使用した枚葉回転湿式処理装置の原理と構造の詳細について説明している。

第3章では、高機能枚葉湿式エッチング技術の開発と得られた結果について明らかにしている。

第1節では、裏面研磨処理により導入された欠陥層を枚葉回転湿式処理により除去することで、半導体素子の電気的特性に大きな影響を及ぼす少数キャリアライフタイムを改善でき、素子特性を大きく向上できる技術を提示している。

第2節では、半導体基板の化学機械式研磨技術による膜平坦化処理工程での新たな改善技術を提案している。膜堆積後の不均一な膜厚分布を枚葉回転湿式処理により均一化し、膜の堆積分布に左右されることなくCMPによる平坦化を向上できる技術を示している。

第4章では、高機能表面洗浄技術の開発と理論的考察を述べている。

第1節では、微粒子および金属汚染の高機能除去技術の開発成果を示している。第1項では、アンモニア過酸化水素水混合薬液による窒化物微粒子除去での微粒子の離脱及び、再付着の機構を考察し、微粒子洗浄における再付着抑制の重要性を明らかにしている。更に微粒子の再付着を媒体境界層厚さを制御することにより抑制できることを述べている。第2項では、パターン剥離を伴わない新しい超音波洗浄技術の開発について明らかにしている。高周波数を用いた超音波の振舞いについて材料による音響エネルギーの違いを考察し、パターン剥離を抑制する材料の最適化を行っている。さらに新しく開発した超音波洗浄技術を用い、超音波プレートとウェハ間の距離の効果および、洗浄液中への酸素添加の効果を見出し、微小パターンを剥離させることなく、粒径 65 nm 以上の窒化物微細窒化粒子を高効率で除去できる技術を明らかにしている。第3項では、薬液による微粒子離脱のメカニズムを考察し、そのメカニズムに基づいた電気化学的な働きかけによる新たな洗浄方法を提案している。パターン剥離および、下層膜のエッチングを伴わない洗浄方法を低出力の超音波と希釈 APM、pH12 を有する強アルカリイオン水による併用処理により実現している。第4項では、薬液による基板のエッチングや物理的力に頼らず、これまで困難であると思われていた DIW だけによる新しい微粒子洗浄方法を提案し、低コストで環境にやさしい洗浄技術の実現を示している。更に第5項では、ウェハ裏面および端面に汚染した Pt を効率的に除去、洗浄できる新しい処理法について明らかにしている。塩酸と硝酸を個別にウェハ上に供給、ウェハ上で直接王水を生成し、塩化ニトロシルや塩素の強腐食性ガスの生成を極力抑制することにより、生産装置の劣化の進行を防止でき、且つ Pt などのイオン化傾向の低い金属を効率的に除去可能な技術の実現を報告している。

第4章の第2節では、銅ダマシン配線技術の銅膜堆積工程での枚葉回転湿式処理による前処理効果について明らかにしている。第1項では、電解めっき法による銅膜の堆積前に銅シード層表面の湿式前処理を行うことで銅膜の初期核を均一に生成でき、HARC内の極薄銅膜の抵抗を大幅に低減できる技術を実現している。第2項では、銅膜のリセス形成にておいて、キャップ層として用いられる無電解めっき法によるCoWP膜の堆積工程で、枚葉回転湿式処理による前処理を行うことにより、CoWP膜との高密着性および、低接触抵抗を実現できる理想的な形状制御および表面状態制御ができるエッチング技術を明らかにしている。更に、層間絶縁膜との高選択比洗浄技術についても提案している。

第4章の第3節では、粗水面における乾燥技術の高機能化を目的として開発したIPAを用いたウォーターマークが発生しない乾燥技術について明らかにしている。IPAが有する低い表面張力と高い揮発性を利用した、ウォーターマークが発生しない乾燥技術の実現を報告している。

第5章では、回転乾式処理と回転湿式処理を融合した次世代に求められる新しい枚葉回転湿式処理技術を提案している。SOM 或いは、SPM を用いた枚葉回転湿式処理だけでは除去が非常に困難な高注入量、高エネルギーでイオン注入されたレジスト膜を、大気圧高周波誘導結合プラズマを用いた乾式処理と硫酸オゾン水を用いた湿式処理を一つの装置内で連続的に行うことにより、短時間で除去できる技術を実現し、これを報告している。

2. 審査結果の要旨

本研究は半導体製造過程の大きな部分を占めるにもかかわらず、これまで統括的な検討が為されてこなかった基板湿式処理について、広範囲に亘る綿密な検討を加え、今後の半導体デバイスの高機能化とともにますます重要となる当該技術について実験及び理論的な考察から新たな知見と新たな手法についての提案をまとめたものである。

本研究で得られた結論および成果を以下に集約する。

1. 裏面研磨処理により導入された欠陥層を湿式処理により除去することで、半導体素子の電気的特性に大きな影響を及ぼす少数キャリアライフタイムを改善し、素子特性を大きく向上できる技術の開発。
2. 半導体基板の化学機械式研磨技術による膜平坦化処理工程での新たな改善技術の提案
3. 以下に代表される微粒子および金属汚染の高度除去技術の開発
 - ① アンモニア過酸化水素水混合薬液による窒化物微粒子除去での微粒子の離脱及び再付着の機構考察に基づく、微粒子洗浄における再付着抑制
 - ② パターン剥離を伴わない新しい超音波洗浄技術の開発
 - ③ 薬液による微粒子離脱のメカニズム考察を基にした電気化学的な働きかけによる新たな洗浄方法の提案
 - ④ 薬液による基板のエッチングや物理的力に頼らない、脱イオン水だけによる新しい微粒子洗浄方法の提案
4. 湿式前処理による銅ダマシ配線における極薄銅膜抵抗の大幅な低減
5. イソプロピルアルコールを用いたウォーターマークが発生しない乾燥技術の開発
6. 高注入量、高エネルギーでイオン注入されたレジスト膜を、大気圧高周波誘導結合プラズマを用いた乾式処理と硫酸オゾン水を用いた湿式処理を組み合わせることにより短時間で除去する技術の開発

以上のように、本研究は電子デバイス作成工程において欠くことのできない基板湿式処理についての理解に基づく新たな技術の提案を行ったものであり、ここで得られた成果は半導体製造技術の発展に寄与するところが大きい。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士（工学）の学位に値するという結論に達した。