

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2008 ～ 2009
 課題番号： 20760046
 研究課題名 (和文) レーザ気相診断によるプラズマ窒化プロセスの反応メカニズムの解明
 研究課題名 (英文) Investigation of process reaction mechanism in plasma nitridation with laser diagnostics

研究代表者

竹田 圭吾 (TAKEDA KEIGO)
 名古屋大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：00377863

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、シリコンテクノロジーをはじめとする半導体製造技術においてキーテクノロジーとなっている酸窒化プロセスに応用されるプラズマプロセスにおいて、酸素原子、窒素原子などの各種反応活性種の振舞いを、真空紫外レーザー吸収分光法をはじめとする各種気相診断法を用いて、定量的に評価することに成功した。また、我々の研究室で開発に成功している小型簡便な原子状ラジカルセンサーを更に発展させ、準安定原子状ラジカルの計測システムの構築にも成功した。

研究成果の概要 (英文)：

Plasma oxidation and nitridation are key technology in the silicon technology. In this study, we have successfully measured the absolute densities of activated species, such as oxygen and nitrogen atoms in these processing plasmas, with plasma diagnostics methods such as vacuum ultraviolet laser absorption spectroscopy, etc. Moreover, a technique with a micro hollow cathode lamp has been made technological advances for measuring the metastable atomic radicals.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 応用物理学一般

キーワード：プラズマ酸窒化，窒化プロセス，窒素・酸素ラジカル，プラズマ気相診断，原子絶対密度計測，準安定原子状ラジカル，大気圧マイクロホローカソード光源

1. 研究開始当初の背景

シリコンテクノロジーを基盤とした半導体デバイス製造技術において、酸窒化プロセ

スは欠かすことの出来ないキーテクノロジーとなっている。ゲート絶縁膜や素子分離構造形成に用いられるこのプロセス技術お

では、プロセスの低温化が高性能なデバイスを構築する上で極めて重要であり、この問題を解決する手法として、反応性プラズマを用いたプロセス技術の研究開発が盛んに行われ、実際の生産現場においても頻繁に使用されている。しかし、この反応性プラズマを用いた技術においては、原子状ラジカルなど活性種がそのプロセス反応に大きな働きをすると考えられているが、その振舞いに関する定量的な知見は皆無であり、プラズマ内部での反応メカニズムはブラックボックス的な状態である。そのためプラズマ内部の反応過程がわからないまま、装置の圧力、ガス流量、投入パワーなど間接的なパラメータをコントロールする試行錯誤的な技術開発が未だに行われている。しかし、今後ますます高精度な微細加工特性が必要とされる半導体分野において、現状のままでは開発費が膨大となり破綻することが予想される。そこでプラズマ内部の活性主を定量的に計測し、その反応メカニズムを解明することが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、半導体製造工程において極めて重要であるプラズマ酸化プロセスの更なる高精度化及び高機能化を実現するため、レーザシステムを用いた吸収分光計測法や、プラズマからの発光のモニタリングなどのプラズマ相診断計測法によりプラズマプロセス中の原子状ラジカルなどの活性種の振る舞いを定量的に調査し、そのプロセス反応への影響を評価することにより、プラズマプロセスのメカニズムを解明することを目的としている。

3. 研究の方法

大型レーザシステムを用いた吸収分光法により、プラズマプロセスの反応過程に大きく寄与する原子状ラジカルなどの活性粒子の絶対密度を計測する。原子状ラジカルは、波長 200nm 以下の真空紫外領域と呼ばれる波長領域の光を吸収するため、本研究においては、その真空紫外領域で発振するレーザ光の波長を走査することができる真空紫外レーザシステム (図 1) を用いた吸収分光法を原子状ラジカルの定量計測に応用する。そして、気相計測と同条件における Si 酸化膜の窒化プロセスも行い、それぞれの活性種の影響を調査する。プラズマプロセスにおけるそれぞれの活性粒子の影響を定量的に調べ、最適なプラズマの内部条件の指針を示す。



図 1 真空紫外レーザシステム

4. 研究成果

プラズマ酸化プロセスにおいて、極めて重要である準安定・基底状態酸素原子の絶対密度を真空紫外レーザ吸収分光法を用いて定量的に計測することに成功した。さらに、それぞれの粒子のプロセスへの影響を明らかにするために、基板表面での失活量を定量的に評価した結果、準安定酸素原子が、基底状態酸素原子と比較して、プロセスに数十倍以上大きな影響を与えることが明らかになった。さらにその窒化プロセスに用いられる窒素ラジカル源から供給される窒素原子、窒素分子の振る舞いを絶対密度などの定量的な評価を行うとともに、図 2 に示すように、窒素原子の高密度供給を可能とするラジカル供給装置を開発に成功した。本研究で得られた成果は現在の半導体デバイス製造の基幹プロセスであるプラズマ酸化プロセスに与える影響は極めて大きいといえる。

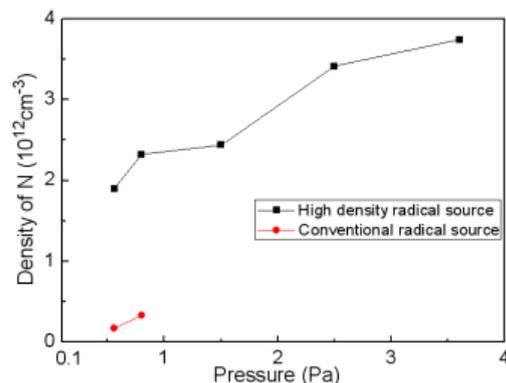


図 2 開発したラジカル供給装置から供給される原子状窒素ラジカル絶対量

また、上記プロセスの簡便なモニタリングツールとして、従来の基底状態のみを計測可能であった原子状ラジカルモニタリングシス

テムを、プロセス結果を大きく左右する準安定酸素原子、および窒素原子の定量的な計測を可能とする小型簡便な計測システムとして発展させることにも成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. C. S. Moon, K. Takeda, S. Takashima, M. Sekine, Y. Setsuhara, M. Shiratani, and M. Hori, High performance of compact radical monitoring probe in H₂/N₂ mixture plasma, *J. Vac. Sci. Technol. B* 査読有, 28, 2010, L17-L20.
2. 堀勝, 竹田圭吾, 自律型プラズマナノエッチング製造装置の創製～装置が自己判断、自己制御、自己修正する究極のプラズマプロセスの実現～, *NU VBL news*, 査読無, 第14巻, 2010, p.7.
3. K. Takeda, S. Takashima, M. Ito, M. Hori, Absolute Density and Temperature of O(¹D₂) in Highly Ar or Kr Diluted O₂ Plasma, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, Vol. 93, 2008, pp.021501-1-3.

〔学会発表〕(計14件)

1. S. Chen, H. Kano, S. Den, K. Takeda, K. Ishikawa, H. Kondo, M. Sekine and M. Hori, Radical Kinetics in N₂-H₂ Plasma Generated by Novel High Density Radical Source, 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), 2010年3月7-10日, 名城大学(愛知県)
2. K. Takeda, M. Hori, Mechanism of plasma Oxidation Process, The 10th International Workshop of Advanced Plasma Processing and Diagnostics Joint Workshop, 2010年1月8-10日, 長崎大学(長崎県).
3. K. Takeda, M. Hori, Development of process technology based on advanced plasma nano science, The 2nd International Symposium of Plasma Center for Industrial Applications (PLACIA) and Plasma Application Monozukuri (PLAM) on Industrial Application of Advanced Plasma Technology, 2009年11月18日, 名古屋サイエンスパーク・サイエンス交流プラザ(愛知県).
4. 竹田圭吾, 堀勝, 酸化用表面波プラズマ内における酸素原子の振舞い, 2009年秋季第70回応用物理学関係連合講演会, 2009年9月7日, 富山大学(富山県)
5. K. Takeda, H. Inui, Y. Matsudaira, T. Yara, T. Uehara, M. Sekine, M. Hori, Surface modification process for organic material and glass in nonequilibrium atmospheric-pressure pulsed remote plasma, International Symposium on Plasma Chemistry 19, 2009年7月27日, Ruhr-University Bochum (Germany).
6. 宮脇雄大, 竹田圭吾, 関根誠, 堀勝, 二周波励起容量結合型Ar / O₂プラズマによるダメージフリーアッシングの開発, 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年4月2日, 筑波大学(茨城県)
7. 陳尚, 加納浩之, 田昭治, 高島成剛, 竹田圭吾, 堀勝, 高密度ラジカルソースにおける窒素および水素ラジカルの挙動, 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年4月1日, 筑波大学(茨城県)
8. 竹田圭吾, 堀勝, 水素添加Ar/O₂プラズマ内におけるSi酸化膜成長への活性種の影響, 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, 筑波大学(茨城県)
9. 阿部祐介, 川嶋翔, 竹田圭吾, 関根誠, 堀勝, 高圧領域でのVHF容量結合型プラズマ中におけるH原子の挙動II, 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, 筑波大学(茨城県)
10. Y. Abe, K. Takeda, M. Sekine, M. Hori, Measurements of Absolute Density and Translational Temperature of Hydrogen Atoms in the High Pressure VHF Capacitively Coupled Plasma, The 2nd International Conference on Plasma-Nano Technology & Science, 2009年1月22日, 名古屋大学(愛知県)
11. Y. Abe, K. Takeda, M. Sekine, M. Hori, Absolute Density and Translational Temperature of Hydrogen Atoms in the High Pressure VHF Capacitively Coupled Plasma, The IUMRS International Conference in Asia 2008, 2008年12月9-11日, 名古屋(愛知県)
12. 竹田圭吾, 堀勝(招待講演), プラズマセンサーによる環境管理, SMBC環境ビジネスフォーラム, 2008年12月12日, 東京ビッグサイト(東京都)
13. 陳尚, 加納浩之, 田昭治, 竹田圭吾, 高島成剛, 堀勝, 高密度ラジカルソースにおける窒素ラジカルの挙動, 第2回プラズマエレクトロニクス インキュベーションホール, 2008年9月24-26日, マキノパークホテル&セミナーハウス(滋賀県)
14. 阿部祐介, 竹田圭吾, 関根誠, 堀勝, 高圧領域でのVHF容量結合型プラズマにおけるH原子絶対密度、並進温度計測, 第2回

プラズマエレクトロニクス インキュベーションホール, 2008年9月24-26日, マキノパークホテル&セミナーハウス(滋賀県)

[図書] (計1件)

1. 竹田 圭吾, 堀 勝(分担), 大気圧プラズマ―基礎と応用―, オーム社、4.4.3, 4.5.6 項, 2009 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹田 圭吾 (TAKEDA KEIGO)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00377863