

拡散防止膜用窒化タングステン超薄膜形成プロセスの開発

○田中 秀幸^{*1}, 若杉 雄彦^{*1}, 林 直毅^{*1}, 中田明良^{*1}, 久保田弘^{*1}, 中村 一光^{*2}

^{*1}熊本大学, ^{*2} (財)くまもとテクノ産業財団

1. はじめに

近年における半導体性能は、デバイスの微細化により年々向上している。しかしながら、微細化が進むことによって発生する問題は多々あり、その一つとして配線抵抗の増大に伴う配線遅延時間の増大が問題になっている。この問題を解決するために、抵抗率の低いCuを用いたCu配線が注目されている。しかしながら、CuはSiや層間絶縁膜に容易に拡散し、デバイス性能低下を引き起こしてしまうため、高性能な拡散防止膜が必要となる⁽¹⁾。本研究では、Cu配線用拡散防止膜としての窒化タングステン超薄膜の開発を目標としている。

これまで我々は窒素イオンビーム照射を用いたシーケンシャルアシスト法で、この窒化タングステン超薄膜の形成プロセスの開発を行ってきた。しかしながら、タングステンの窒化は非常に難しく殆ど窒化しないのが現状である。また、窒素イオンを用いた窒化では、超薄膜へのイオン注入効果によるダメージが懸念される⁽²⁻³⁾。そこで、我々の研究グループでは、薄膜のダメージを低減し、反応性が高いと考えられる窒素ラジカルを用いたタングステン超薄膜の窒化プロセスの検討を行った。

窒素ガスをベースとした窒素プラズマ中には、不対電子を持った窒素分子ラジカル(N_2^*)と窒素分子イオン(N_2^+)が存在している。 N_2^* は、不対電子を持っているため反応性が極めて高いと考えられ、イオンを用いた窒化プロセスに比べて低ダメージな窒化膜を形成できると考えられる。本研究では誘導結合型プラズマ発生装置(ICP: Inductive Coupling Plasma)によりラジカルの生成を試みた。ICPによる放電は、無電極放電形式であり発生するプラズマはクリーンなものである。発生するプラズマの特性はガスの種類、流量、圧力および放電パラメータにより変化する。特に、プラズマ反応においてはプラズマ中に存在する励起種が主となり反応が進むことから、励起種の状態を把握することが重要である。励起種の中には当然イオンも含まれている。本稿では窒化プロセスで重要となる窒素プラズマ中の N_2^* と N_2^+ の発生条件を調査し、イオンによるダメージを低減し N_2^* による窒化を促進させるための方法について考察する。

2. 実験方法

Fig. 1 にプラズマ発生装置の概略図を示す。Table. 1 の条件のもと、RF電源でコイルに高周波を印加して、プラズマを生成した。発光分光分析装置(Hamamatsu Photonics 製 C6670)によりプラズマ中の励起種を同定した。また、プラズマ中のイオンの存在を把握するために基板に負バイアスを印加して、イオン電流を計測した。

まず、 N_2 100%の雰囲気中で、圧力を2.7~26.6 Paの範囲で変化させて、窒素分子イオンの発光強度(N_2^+ :391 nm)、窒素分子ラジカルの発光強度(N_2^* :336 nm)を測定し、それらの発光強度比を導出した。

次に、 N_2 ガスにArガスを10~95%混合した雰囲気中で、Ar/ N_2 混合ガスの全圧を N_2 100%の時と同様に2.7~26.6 Paとし、 N_2^*/N_2^+ の発光強度比を測定した。

圧力の制御は、コンダクタンスバルブを一定のポジションにして、ガスの流量をフジキン製FCS(Flow Control System)で調整することにより行った。

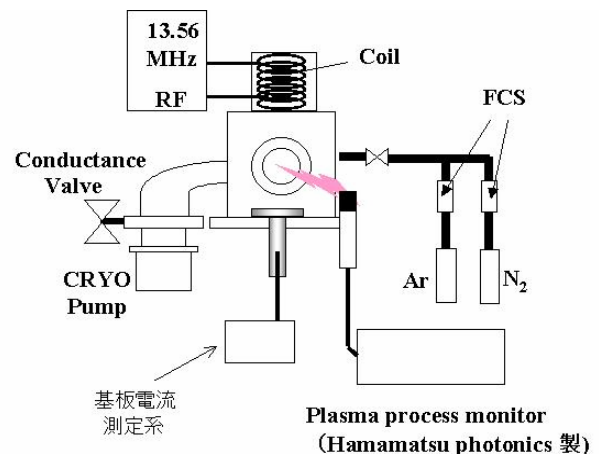


Fig.1 誘導結合型プラズマ発生装置と発光分析系

Table. 1 プラズマ生成条件

励起周波数	13.56MHz
RF電力	500W
放電圧力	2.7~26.6 Pa
ガス種	N_2 , Ar/ N_2 混合

3. 実験結果

Fig. 2 に N_2 (100%) プラズマ中に含まれる N_2^+ の発光強度および N_2^*/N_2^+ の発光強度比を示す。窒素の圧力が 2.7Pa 付近で N_2^+ の発光強度が最大値を示した。また基板に流れるイオン電流を測定した結果、イオン電流も 2.7Pa 付近で最大値 (3.30mA) となり、発光分析結果ともよく一致しているため、この圧力下において、 N_2^+ の発生が最大となると考えられる。また、圧力が高くなるにつれて N_2^* の強度が大きくなり、結果として、 N_2^+ との強度比は圧力に伴って大きくなった (26.6Pa で最大強度比 18)。

Fig. 3 に Ar / N_2 混合ガスの N_2^*/N_2^+ 発光強度比を示す。Ar の分圧が大きくなるにつれて、 N_2^* と N_2^+ の発光強度比が大きくなった。また、全圧の高い方が発光強度比は大きくなった。全圧 26.6Pa、Ar 95%、 N_2 5% の混合ガスにおいて、発光強度比は 60 となり、 N_2 (100%) 26.6Pa の強度比 18 と比べて 3.3 倍となった。

4. 考察

実験結果 Fig. 2 より、高压になるにつれて N_2^* の発生が促進されていることが分かる。これは、平均自由行程が短くなり、衝突頻度が多くなることで N_2^* の発生確率が大きくなるからだと考えられる。一方、 N_2^+ は圧力 2.7Pa を越えた所で発光強度が小さくなる。圧力が高くなることで、1 分子当たりに供給される電子エネルギーが小さくなり、 N_2^+ を励起するエネルギーが十分供給できなくなるからではないかと推測される。2.7Pa という条件ではエネルギーの変換効率が最も良くなる条件であったと考えている。

実験結果 Fig. 3 では、Ar 添加による発光強度比の変化が見られた。Ar 雰囲気中に少量の N_2 を添加すると強度比が大きくなる。 N_2 よりも原子サイズが大きい Ar を添加することで平均自由行程は短くなるが、加速電子は Ar に衝突し、 N_2 に対する衝突頻度は小さくなると考えられる。これにより高压の N_2 100% の時と同様に N_2^+ の発生確率が小さくなり、 N_2^*/N_2^+ の強度比は大きくなると思われる。特に全圧が大きく Ar が 90~95% の混合ガスにおいては急激に Ar* の発光強度が増し、 N_2^+ はプラズマ中にほとんど存在しなくなる (Fig. 4)。

5. 結論

窒素プラズマ中に含まれる N_2^+ は、Ar を添加することにより存在比率を小さくできた。特に Ar / N_2 混合ガス、全圧 26.6Pa に対して Ar 95% を添加することにより、大幅に N_2^+ を減らすことができた。この時、 N_2^*/N_2^+ の発光強度比は 60 となり、 N_2^+ はプラズマ中にほとんど存在しなくなる。イオンによるダメージを少なくすることができ効率よく窒化できる条件であり、良質な窒化膜を形成することができると予想される。

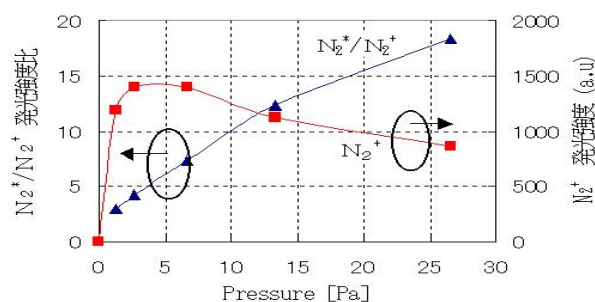


Fig.2 N_2^+ 発光強度
 N_2^*/N_2^+ 発光強度比

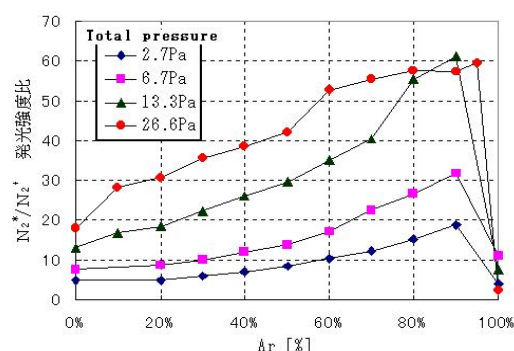


Fig. 3 N_2^*/N_2^+ 発光強度比

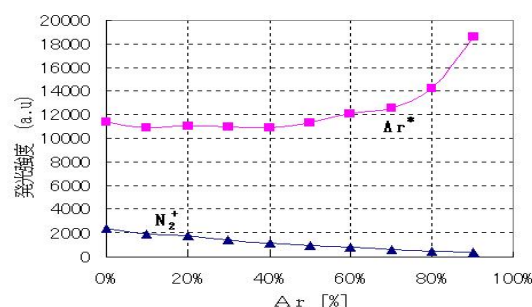


Fig. 4 Ar* 及び N_2^+ の発光強度

謝辞

本研究は科学技術振興事業団熊本地域結集型共同研究事業の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] International Technology Roadmap for Semiconductors 2001 Edition -Interconnect SEMATECH.
- [2] 林直毅：平成 14 年度修士学位論文「イオンビームを用いた窒化タングステン薄膜の成膜」熊本大学.
- [3] N.Hayashi, K.Wakasugi, K.Murakawa, A.Nakada, H.Kubota, K.Nakamura, "Formation of tungsten nitride thin film by sequential ion beam assisted process", 13th International Conference on Ion Beam Modification of Materials, p. 140, 2002.

お問い合わせ先

熊本大学・久保田弘

E-mail : kubota@eecs.kumamoto-u.ac.jp