電子ビーム励起プラズマを用いたエッチングプロセス における異方性の制御

正員 宮 野 竜 一 (中部大)

非会員 藤 井 基 之 (中部大)

正員 池 澤 俊治郎 (中部大)

Control of Anisotropy in Etching Process Using Electron-Beam-Excited Plasma

Ryuichi Miyano, Member, Motoyuki Fujii, Non-member, Shunjiro Ikezawa, Member (Chubu University)

キーワード：電子ビーム励起プラズマ，異方性エッチング，シース電位，加速電圧

次世代のULSIなどの高集積デバイスに用いられるエッチングプロセスでは、高エッチング速度、強異方性、下地酸化膜に対する高選択性、および低損傷性が求められる。そのためには、0.1 Pa 台の低圧力で 10^{11} cm^{-3} 以上の高密度のプラズマを生成するだけでなく、加工ウェーハ表面に形成されるイオンシース間の電位差、すなわちシース電位を適切に制御する必要がある。その手法の一例として、電子ビームのプラズマ中への入射をあげることができる⁽¹⁾。しかし、そのような制御機構を通常の装置に追加すれば、装置は複雑になってしまう。従って、比較的強い電子ビームを生成プラズマ中に含んでいる電子ビーム励起プラズマ (Electron-Beam-Excited Plasma: EBEP) 装置は、シース電位の制御に優れた装置といえる。実際に、著者らは、本装置の電子ビームエネルギー制御パラメータである加速電圧 V_A によって、シース電位を制御できることを報告している⁽²⁾。一方、EBEP 装置をエッチングプロセスに応用した例はいくつか報告されている⁽³⁾⁽⁴⁾。そのなかで、EBEP を用いれば、上記の条件を満たす高エッチング特性を実現できることがわかっている。しかしながら、電子ビーム制御パラメータによるエッチング特性の変化を明らかにした例はほとんどない。そこで本報告では、 V_A を実験パラメータとして、 Cl_2 プラズマによる Poly-Si エッチングを試みる。

図1に実験装置を示す。EBEP 装置は、全長 1,300 mm $\times$ 100 mm ϕ の円筒形パイレックスガラス製である。その主な構成部分は、電子ビームの源となるプラズマを生成する放電領域、放電プラズマ領域から電子を引き出し加速する電子ビーム加速領域、および高速電子ビームと雰囲気ガスとの衝突によって高密度プラズマを生成する EBEP 領域の三つである。このように各領域が独立しているため、放電電流 I_D と加速電圧 V_A とによって、それぞれ電子ビームの密度とエネルギーとを制御できる⁽⁵⁾。実験の際には、放電領域および電子ビーム加速領域には Ne を導入し、圧力を、それぞれ 20 Pa および 0.03 Pa とした。

EBEP 領域の高密度プラズマによって、Poly-Si をエッチングするために、本領域に Cl_2 を雰囲気ガスとして導入し、圧力を 0.1 Pa とした。装置全体には、電子ビームの壁への拡散を抑制するために、80 mT の一様磁界が軸方向に印加されている。プロセス部 ($Z_{PE}=62.5 \text{ cm}$) でプラズマを広げるため、同図のように磁気シールドを取り付けた。また、装置の壁との衝突による電子ビームの消滅を抑制するために、表面磁界装置⁽⁶⁾を取り付けている。この磁界配位によって、プラズマはプロセス部で広がる。プローブ測定によって、そのプラズマパラメータは 8 cm ϕ の範囲で一様であることを確認した。このプラズマ中に、ウェーハを装置軸方向に対して垂直に配置した。ウェーハとして、0.1 μm の SiO_2 膜上に膜厚 0.3 μm の Poly-Si を蒸着したものを使用した。レジストの厚さは 1 μm で、ラインアンドスペース (L/S) は 1.0 $\mu\text{m}/0.6 \mu\text{m}$ である。また、ウェーハのサイズは 1 $\times$ 1 cm^2 である。このウェーハを冷却媒体によって -20°C 一定に保つ。ウェーハは浮遊電位なので、エッチングの間、プラズマ中のイオンはシース電位でウェーハに向かって加速される。従って、エッチング方法は、プラズマ中のイオンがエッチングに寄与する

図1 エッチングプロセス用 EBEP 装置

Fig. 1. EBEP apparatus for etching process.

図 2 エッチング後のウェーハ断面形状
Fig. 2. Cross-sectional image of etched wafer.

ので、イオンアシストエッチングである。エッチングしたウェーハは、1時間の冷却後、大気中に取り出した。 V_A を変化させた場合のエッチング特性の変化を、ウェーハ断面形状の走査型電子顕微鏡から明らかにする。なお、エッチング時間は4 minとした。

図2に、エッチング結果を示す。同図から、 V_A が70 Vから100 Vに増加すると、アンダカットが減少していることを確認できる。つまり、 V_A を増加させると、エッチング特性が異方性になっていく。この際、シース電位は9 Vから14 Vに増加していた。本手法のようにイオンがエッチングに寄与する場合、イオンがウェーハ表面に対して垂直に入射しないと異方性エッチングが行えないといわれている⁽⁷⁾。これを今回の場合に当てはめると次のようになる。 V_A を増加させていくと、電子ビーム性により浮遊電位が増しシース電位が増加するため、イオンシース領域で十分に加速されるようになる。そのため、イオンがウェーハ表面に対して垂直に入射しやすくなり、異方性エッチングとなっていく。

(平成9年3月17日受付, 同9年4月10日再受付)

- (1) R. Inanami & S. Morita: "Electron-Beam Assisted Inductively Coupled Plasma for Quarter-Micron Etching Processes", 電学論 A, 116, 978 (平8)
- (2) R. Miyano, S. Izumi, R. Kitada, M. Fujii, S. Ikesawa & A. Ito: "Verification of Sheath Potential of Processing Plasma in an Electron-Beam-Excited Plasma Apparatus Using a Current Balance Equation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35, 2427 (1996)
- (3) M. Ryoji, T. Hara, K. Ohnishi, M. Hamagaki, Y. Dake, M. Tohkai & Y. Aoyagi: "New Etching System with a Large Diameter Using Electron Beam Excited Plasma", *ibid.*, 31, 4357 (1992)
- (4) J. Z. Yu, T. Hara, M. Hamagaki, T. Yoshinaga, Y. Aoyagi & S. Namba: "High-rate ion etching of GaAs and Si at low ion energy by using an electron beam excited plasma system", *J. Vac. Sci. Technol. B*, 6, 1626 (1988)
- (5) T. Hara, M. Hamagaki, A. Sanada, Y. Aoyagi & S. Namba: "New high current low energy ion source", *ibid.*, 5, 336 (1987)
- (6) A. Ito, R. Miyano, R. Kitada, S. Izumi & S. Ikezawa: "Production of High-Density Plasma in Electron-Beam-Excited Plasma Device", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 33, 4239 (1994)
- (7) 木下 編: 高密度プラズマ応用プロセス技術, 第4章 (平5) リアライズ社

宮 野 竜 一 (正員) 1969年9月11日生。1994年3月豊橋技術科学大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻修士課程修了。1997年3月中部大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了, 現在に至る。工学博士。応用物理学会会員。

藤 井 基 之 (非会員) 1973年3月24日生。1995年3月中部大学工学部電子工学科卒業。1997年3月同大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。現在、トーカイエレクトロニクス(株)勤務。

池 澤 俊治郎 (正員) 1967年山梨大学工学部電子工学科卒業。1972年名古屋大学大学院博士課程修了。同年中部大学工学部講師, 1976年同助教授, 1986年同教授, 現在に至る。工学博士。現在、プロセスプラズマ源などの研究に従事。日本物理学会, 電子情報通信学会, 応用物理学会, プラズマ・核融合学会, 放電研究グループ会員。