

フロン-12ガスによる反応性スパッタ・エッチングの研究

——炭素鋼の加工特性について——

高橋 達男*・勇田 敏夫**

A Study of Reactive Sputter Etching by Freon Gas

——On the Etching Characteristics of Carbon Steel——

Tatsuo TAKAHASHI and Toshio YUHTA

要 旨

フロン-12ガスのプラズマを利用して、炭素鋼 (S55C) の反応性スパッタ・エッチングを行って、次のことが確認された。

1) エッチ速度は高周波電力に依存し、高電力になるほど増加する。2) ガス圧力 20 m Torr, 電極間隔 70 mm でエッチ速度は最大になる。電極間隔に対する表面あらさは実験した全てのガス圧力の範囲で無関係である。3) 周辺部にエッチ速度を増すエッジ効果がある。4) エッチ速度はガス圧力に依存する。

Abstract

The etching characteristics of carbon steel by reactive sputter etching was investigated experimentally using plasma of freon-12 gas. The obtained results are as follows ;

- (1) The etch rate is dependent on RF power and increases rapidly at high RF power.
- (2) On 20mTorr gas pressure, the maximum value of the etch rate is gained at the electrode spacing 70mm. Surface roughness is independent on the electrode spacing in the range of the all gas pressure investigated.
- (3) There is edge effect increasing etch rate at the specimen in circumference.
- (4) The etch rate is dependent on the gas pressure. The gas pressure which gives the maximum etch rate lies in the range of 10~30mTorr gas pressure.

1. 緒 言

近年、半導体集積回路をはじめとする各種デバイスの高性能化、高集積化などの動向に伴い、その基本技術である微細パターン形成技術に関する研究開発が盛んに行なわれ¹⁾²⁾³⁾、現在超 LSI や集積回路などの電子素子部品の製造過程におけるドライエッチング技術が確立されたと言っても過言

ではない。

一方、宇宙工学、航空工学、医療工学などの分野における急速な発展により、機械部品のマイクロ化も著しく、従来の機械加工による加工可能な限界にまで迫ろうとしているため、機械加工にかわる新しい加工法の出現が待たれている。

筆者らは機械部品等のマイクロ加工に対する新しい加工法として、ドライエッチング加工法を応用するため、基本的な材料である鋼材を対象として、S55C のフロンガスによる反応性スパッタ・エッチング (反応性イオン・エッチングとも呼ば

* 助教授 一般教科

** 助教授 北海道大学工学部

れている)の基本的研究を行った。⁴⁾⁵⁾⁶⁾本報ではS55Cのフレオン-12ガスによる反応性スパッタ・エッチングにおける最適加工条件を決定するため加工特性を調べ、高周波電力、電極間隔、ガス圧力等のエッチングに及ぼす影響やエッチング不均一性について実験、検討した結果について報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験に使用した2極高周波スパッタ・エッチング装置の概略図を図1に示す。装置は図1に示されるように、(1)エンチング室、(2)電源部、(3)排気系と真空計、(4)ガス供給部に分けられる。エッチング室は、直径300mmのバイレックスガラス製ベルジャーでお、われ、電極直径は80mm、下部電極に高周波電力(13, 56 MHz)が印加され、エッチング中の温度上昇防止のために水冷されている。下部電極の側面は、構造上ベースプレート上に露出しているため、側面から5mmの間隔を置いて円筒状接地シールドを設けて上部電極と同電位とした。ガスはフレオン-12(純度99.5%以上)を使用した。実験条件は表1に示す。

表1 実験

試料	炭素鋼 (S55C)	
反応ガス	フレオン-12 (CCl ₂ F ₂)	
エッチング時間	120 min	
高周波電力	25~250 W	200 W
電極間隔	25~115 mm	50 mm
加工面積	18.45 cm ²	6.15 cm ²
ガス圧力	5~40 mTorr	5 mTorr

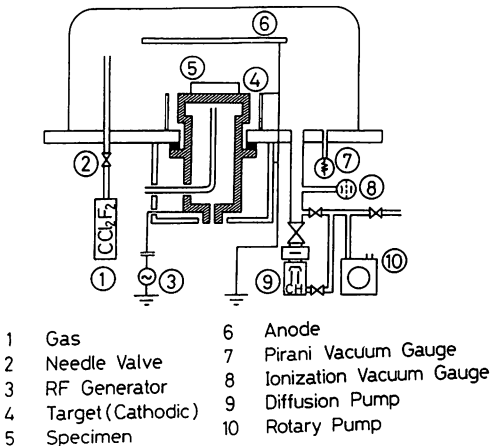


図1 実験装置の概略

実験は下部電極に試料をセットして、ベルジャー内を 1×10^{-4} Torrまで排気した後、フレオン-12ガスを導入してピラニーゲージで所定の圧力に設定し、高周波電力を印加し放電させ、エッチングを開始した。試料は表面あらさ $0.1 \mu\text{m Rmax}$ 以下になるようにエメリー仕上げしたのち、アセトンで10分間超音波洗浄した。エッチ速度の測定方法は、試料面上にSiウエハの細片を密着させマスクとしてエッチングを行ない、エッチ部とマスク部との高低差から求めた。表面あらさは、小坂式SE-3型万能表面形状測定機(ダイヤモンド触針半径 $3 \mu\text{m}$ 、測定荷重 0.5 gf 以下)で測定した。

3. 実験結果と考察

3-1 高周波電力依存性

図2はガス圧力5 mTorrにおける高周波電力とエッチ速度の関係を示す。参考のためアルゴンガスによるスパッタ・エッチングの結果も示したが、フレオン-12による反応性スパッタ・エッチングのエッチ速度はアルゴンガスによるスパッタ・エッチングのそれより2~6倍大きいことがわかる。スパッタ・エッチングの場合のエッチ速度は、電力増加に対してほぼ直線的に増加するが、反応性スパッタ・エッチングの場合は高電力になると加工速度の増加が急激である。

アルゴンガス中のスパッタ・エッチングでは、放電電力の増加に伴ない、プラズマ中のイオン密度とイオンシース内の電圧降下が増大し、衝撃イオン数とイオンの運動エネルギーが増加すると考えられる。L. Hollandらは、印加高周波電力とターゲットのバイアス電位はほぼ直線的な関係に

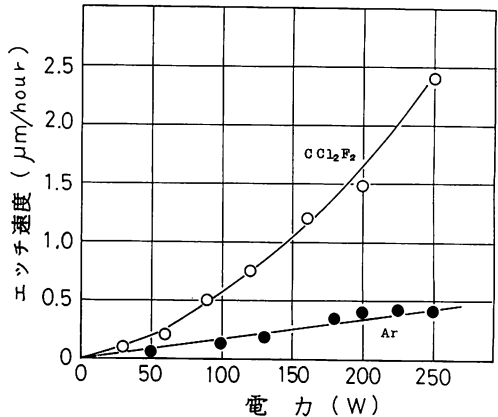


図2 高周波電力とエッチ速度の関係

あること、アルゴンガスと酸素ガス中でそれぞれ実験的に証明している。⁷⁾

次にフロン-12 ガスによる反応スパッタ・エッチングでは、アルゴンガスのスパッタ・エッチングと比較して、入射イオン質量の相違によるスパッタリング・イールドが異なるため、化学反応が相乗することから、印加電力の増大により反応種の数が増大するため、スパッタ・エッチングの場合と異なった電力特性を示すものと考えられる。松尾らによると、Si のプラズマ・エッチングでは印加電力の増加により、図2と同様な exponential に近いエッチ速度の増加を示す⁸⁾ことから、反応性スパッタ・エッチングの電力特性は反応種による化学反応の影響が大きいものと考えられる。

3-2 電極間隔依存性

図3は電極間隔とエッチ速度ならびに表面あらさの関係を示す。電極間隔が狭いと安定した放電が得られないため、ガス圧力 25 mTorr において電極間隔は 25 mm 以上、ガス圧力 10 mTorr において 30 mm 以上の電極間隔で実験を行なった。

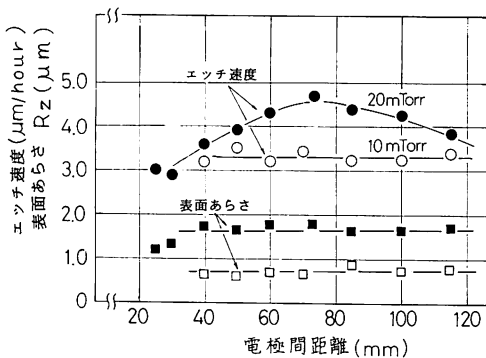


図3 電極間距離とエッチ速度
並びに表面あらさの関係

図3で示されるように、表面あらさは電極間隔に関係なくほぼ一定値を示しているが、エッチ速度は、ガス圧力 10 mTorr の場合電極間隔に関係なく一定であるが、20 mTorr の場合電極間隔 70 mm で最大値を持っている。これは通常スパッタリングのエッチャントとなる陽イオンは、下部電極近傍数 mm のイオンシース内で加速されることから電極間隔には無関係と考えられるが、ガス圧力 20 mTorr、電極間隔 70 mm でエッチ速度が最大値を持つ理由として、プラズマ中で自由電子により炭素原子と解離して励起状態となっている

塩素と弗素ラジカルの加工に及ぼす影響が大きくなっていると考えられる。

3-3 エッチングの不均一性 (エッチ効果)

図4、図5にエッチング不均一性についての結果を示す。こゝで2種類のエッチング不均一性について定義する。第1に図4に示すように下部電極上の平面的位置による不均一性、第2に試料内における不均一性(図5)である。実験は、前もって形状を測定しておいた試料を下部電極上に3個並べてエッチングを行ない、各図の右上に示すように図4では試料を連続縦断し、図5は各々の試料を連続横断してエッチ量を測定した。

図4で、横軸の符号(+), (-)は下部電極の中心を零として、測定点の中心からの位置を表わしている。電極中心付近において、エッチ速度はほぼ一定であるが、試料の両端(中心から最も遠く離れ、自由空間に接している)ではエッチ速度が急激に増加しているが、試料同士が接触している部分でエッチ速度の増加は観察されなかった。

次に図5において、横軸の符号(+), (-)は各々の試料中心を零として、測定点の試料中心からの位置を表わしている。図に示されるように、試料の中心近傍でエッチ速度は中心より高い値を

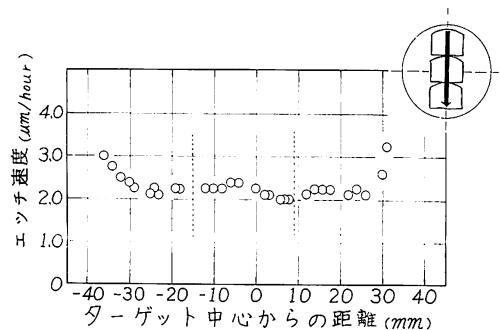


図4 エッチング不均一性 (その1)

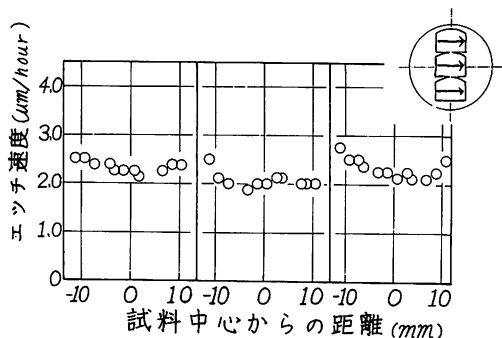


図5 エッチング不均一性 (その2)

示している。また、3個の試料を比較してみると、両外側の試料が中央の試料より高いエッチ速度を示している。これは試料の厚さが5 mmあり、電極面と加工面との間に5 mmの段差があるので、イオンシースにも段差が観察され、これによりイオンの斜方入射が影響していると考えられる。イオンスパッタの場合、垂直入射より斜方入射がスパッタリング・イールドが高く、50~70°がピークと言われている。⁹⁾

日立中研の飯田らによると、Alの反応性スパッタ・エッチングの場合、通常エッチングでエッジ効果が現われるが、試料周辺に石英リングを置くことにより、エッチング不均一性が解消されることが報告されている。¹⁰⁾ また別の解消法として、試料の厚さを薄くすること、電極面保護板中に試料を埋め込むことなどが考えられる。

3-4 ガス圧力依存性

図6は、設定ガス圧力とエッチ速度ならびに表面あらさの関係を示す。図に示されるように、エッチ速度はガス圧力10 mTorrから30 mTorrにわたって、3.5~4.0 $\mu\text{m}/\text{hour}$ の最大値を示し、ガス圧力5 mTorr以下、30 mTorr以上で急激に減少している。

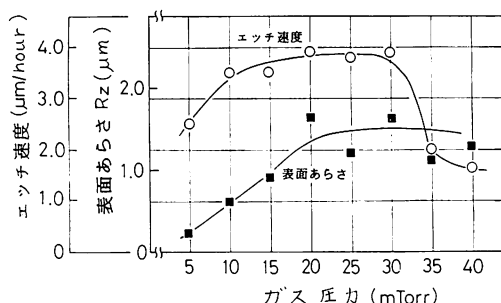


図6 ガス圧力とエッチ速度並びに表面あらさの関係

一定電力の下で、ガス圧力を増加させると電流密度が増加し、圧力が減少するとイオンシースの電圧降下が増加する。つまり、低真空になるほどイオン密度は増加するが、ガス粒子同士の衝突の活発化、平均自由行程の減少により、イオン1個あたりが持つ運動エネルギーは減少してスパッタリング・イールドが下がる。また真空度が良くなると、イオン密度は減るが、スパッタリング・イールドは増大する。そのピークが10~30 mTorrの領域で存在すると考えられる。

三村によると、Tiを CF_4 ガスで反応性スパッタ・エッチングをした場合、高周波出力が変わると

エッチ速度の最大値を得るガス圧力が変化し、高出力になるにつれてガス圧力が低い方に移行すると報告¹¹⁾している。このことから、イオン密度とイオンシース内の電圧降下の相関関係が、ガス圧力特性に大きな影響を与えていると考えられる。

次に表面あらさはガス圧力5~20 mTorrまでの間でガス圧力の増加に伴ない急激に増大しているが、20 mTorrを超すと若干減少気味である。

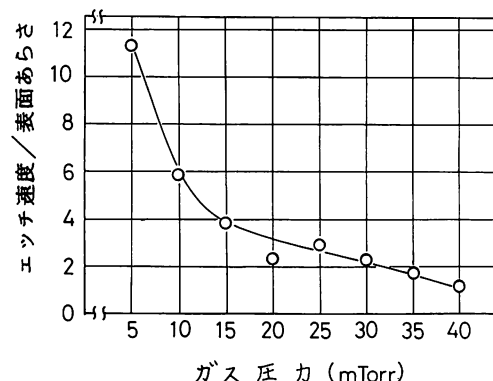


図7 ガス圧力とエッチ速度／表面あらさの関係

図7は、ガス圧力と単位表面あらさ当りのエッチ速度の関係を示している。生成される表面あらさが小さくて、エッチ速度が高い方が仕上げ加工に適しているので、図から明らかなように、ガス圧力が低い条件で上述の条件を満たしているから、エッチングの際、エッチ速度の高いガス圧力でエッチングを行ない、最終段階で低いガス圧力で仕上げを行えば、生産性向上を損なわずに良い仕上面が得られると考える。

4. 結 論

本研究は、フロンー12ガスによる炭素鋼の反応性スパッタ・エッチングを行ない、その加工特性について実験、検討した結果、次のような結論が得られた。

(1) 高周波電力の増加により、アルゴンガスのスパッタ・エッチングにおけるエッチ速度は直線的に増大するが、フロンー12ガスの反応性スパッタ・エッチングでは高電力で急激に増大する。

(2) 電極間隔70 mmで、ガス圧力20 mTorrの場合エッチ速度は最大値を示し、表面あらさは電極間隔に影響されない。

(3) 試料周辺部はエッチ速度の大きいエッジ効果がみられる。

(4) ガス圧力 10~30 mTorr の領域で、エッチ速度の最大値が存在する。また 5 mTorr 付近で単位表面あらさ当りのエッチ速度が大きいため、エッチング後半で適当にガス圧力を下げることにより、エッチ速度を極端に下げることなしに仕上げ面あらさの改善が出来ると考えられる。

文 献

- 1) 伏木 薫：日経エレクトニクス, Vol. 1, No. 10 (1977)
- 2) S. Krongelb : J. Vac. Sci. Technol. Vol 16, No2 (Mar/Apr. 1979)
- 3) T. T. Foxe : J. Vac. Sci. Technol. Vol. 19, No. 4 (NovKDec. 1981)
- 4) T. Yuhta, M. Nakajima and T. Satoh : Bull. JSPE Vol. 17, No. 1 (Mar. 1983)
- 5) T. Yuhta, J. Osanai and T. Satoh : Bull. JSPE Vol. 19, No. 1 (Mar. 1985)
- 6) 勇田敏夫, 小山内潤, 佐藤敏一, 高橋達男：北海道大学工学部研究報告 第 128 号 (昭和 60 年)
- 7) L. Holland : Vacuum Vol. 26, No. 2 (1975)
- 8) S. Matsuo : J. J. A. P Vol. 17, No. 11 (1978)
- 9) N. Taniguchi : Annals of the CIRP. Vol. 24, No. 1 (1975)
- 10) 飯田進也：日立製作所中央研究所技術資料
- 11) 三村義昭：精密機械 Vol. 42, No. 6 (1976)

(昭和 60 年 12 月 2 日受理)

