カusp磁場を有する平行平板型高周波プラズマの特性*

川田 博昭**・山本 孝**・葛 静 芳**・久保 隆**・村田 顕二**

(受理1996年12月3日, 掲載決定1997年1月11日)

Characteristics of Planar Type Radio Frequency
Plasma with Cusp Magnetic FieldHiroaki KAWATA, Takashi YAMAMOTO, Jing Fang GE,
Takashi KUBO and Kenji MURATA(Department of Physics and Electronics, College of Engineering,
Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuenchou, Sakai, Osaka)

(Received December 3, 1996, Accepted January 11, 1997)

1. はじめに

高周波マグネトロンプラズマを用いると比較的容易に高密度のプラズマが得られるため, エッチングやスパッタ蒸着等に広く用いられている. この場合, プラズマ密度の高い部分がカソード電極の近傍にでき, カソードに置いた試料にイオン等が効率よく入射するため高いエッチング速度が期待できる. しかし, 磁場の強さが空間的に一様でないためプラズマ密度は大きな径方向分布を持つ. その径方向分布が拡散によって緩和される前にイオン等が試料に入射するため, 試料面内で均一なエッチングを行うことがむずかしい¹⁾.

我々はカソードとアノードの両電極の裏側に永久磁石を置いて酸素プラズマを生成し, レジストのエッチングを行った. この際, 磁石の配置を変えて, できるだけ均一なエッチングが行える条件を検討したので報告する.

2. 実験方法

Fig. 1 に実験装置の概略図を示す²⁾. プラズマチェンバーは通常の平行平板型の装置と同様のものである. 上部電極および下部電極の直径はそれぞれ, 80 mm および 120 mm とした. 上部電極に 13.56 MHz の高周波を印

Fig. 1 Schematic view of the experimental apparatus.

加し, 下部電極は接地した. このため, 上部電極はカソード, 下部電極はアノードとなる. 上部電極の周囲に寄生放電防止のため Al 製のガード電極を設けた. 電極間にラングミュアプローブ (Pt 製, 直径 0.3 mm, 長さ 8 mm) を挿入しイオン飽和電流, I_{is} , の空間分布を測定した. また, カソード電極には中心から 8 mm の位置に直径 5 mm のプローブ電極を挿入し, カソード電極に入射するイオン電流, I_{ic} , を測定した. カソードおよびアノード電極の裏側にはドーナツ型の永久磁石を置けるようにした. これらの磁石は N 極が向かい合うように置いた. 永久磁石として large magnet (外径 110 mm, 内径 60 mm) および small magnet (外径 80 mm, 内径 40

* 平成 8 年 11 月 1 日 第 37 回真空に関する連合講演会で講演

** 大阪府立大学工学部電子物理工学科 (〒593 堺市学園町 1-1)

Table 1 Experimental conditions

	cathode magnet	anode magnet	guard electrode
Case 1	No	No	Grounded
Case 2	small	small	Grounded
Case 3	small	large	Grounded
Case 4	small	large	Floating

mm) の 2 種類を用いた。本研究で行った実験での磁石の組み合わせおよびガード電極の状態を Table 1 に示す。放電は O_2 ガスを用い圧力 1.3 Pa で行った。

3. 結果および考察

カソード電極から 5 mm の位置での径方向および軸方向の磁束密度、 B_r , B_z の空間分布を Fig. 2 に示す。カソードに置いた磁石 (small magnet) の中心軸 ($r=0$ mm) および磁石面の中央 ($r=30$ mm) で B_r は弱く、 B_z が強い。一方、磁石のエッジ付近 ($r=20$ mm, 40 mm) では B_r が強く、 B_z が小さい。カソードおよびアノードともに small magnet を置いた場合、 B_r , B_z の空間的な変化は大きい (Fig. 2(a))。アノードに large magnet を置くと、カソードとアノードに置いた磁石の径が異なるため、 B_r , B_z の空間的な変化は緩和される (Fig. 2(b))。磁力線の概略を Fig. 3 に示す。これより中心および磁石の中央面付近にカスプ磁場ができていていることがわかる。

Table 1 に示した各条件で放電を行った場合のカソード、アノード間の直流バイアス電圧、 V_{dc} 、およびカソードに入射してくるイオン電流密度、 I_{ic} 、を Table 2 に示す。通常、反応性イオンエッチング (RIE) と呼ばれる磁石を用いない Case 1 では、 I_{ic} が小さく、 V_{dc} が大きい。少量のイオンが大きなエネルギーを持って試料に入射してくることがわかる。磁石を入れると B_r により電子は電極と平行な方向に長い距離動けるため、プラズマ密度は大きくなり、電子の電極への拡散は押さえられる。このため、 I_{ic} が大きくなり、 V_{dc} は小さくなる。

イオン飽和電流、 I_{is} 、の径方向分布を Fig. 4 に示す。磁石を用いた場合はカソードから 12 mm の位置で測定を行ない、磁石を用いない Case 1 だけカソードから 17 mm の位置で測定を行なった。カソードにフォトレジスト (東京応化製、OFPR800-Y4) を塗布した Si の小片をいくつか置き、それよりエッチング速度の場所による依存性を調べたものを Fig. 5 に示す。通常の RIE である Case 1 ではエッチング速度、 I_{is} 、ともほぼ均一である

(a)

(b)

Fig. 2 Spatial distribution of magnetic flux for both (a) Case 2 and (b) Cases 3 and 4.

ことがわかる。磁石を用いた場合 I_{is} は中心付近で大きいことがわかる。Case 2 と Case 3 のエッチング速度は B_r の磁場が極大である $r=20$ mm 付近で最大となり、場所による依存性が非常に大きいことがわかる。 I_{is} と比べてエッチング速度の中心付近での減少は顕著である。カソード付近では Fig. 3 で 1 と示された Br の大きい領域で荷電粒子が多く生成されプラズマ密度も高く³⁾、この部分でのエッチング速度が大きいと考えられる。この

Fig. 3 Illustration of the magnetic flux line.

Table 2 Values of bias voltage and ion current density on the cathode

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
V_{dc} (V)	470	130	85	50
I_{ic} (mA/cm ²)	0.14	1.8	1.3	0.83

1の領域で生成された電子は磁力線に沿って電極中央部に輸送されるため、カソードから少し離れた所では2の領域でプラズマ密度が高くなる。 I_{is} はカソードから少し離れた所のプラズマ密度を測定するため、 I_{is} は中心付近で大きくなる。プローブによる測定とエッチング速度が対応しないことに注意を要する。エッチング速度の場所による依存性はCase 3よりCase 2の方が顕著である。これはCase 2の方が B_r , B_z の径方向の変化が激しいためと考えられる。Case 4では、 V_{dc} が小さく、径方向に均一なエッチング速度が得られている。この場合、磁界の空間分布はCase 3と同じであるが、カソードのまわりのガード電極が電氣的に浮遊している。このため、接地電極の面積が減少し、 V_{dc} が減少する。また、ガード電極はカソードとアノードの中間的な電位となり、ガード電極とアノード間でも比較的強いプラズマが生成されることが考えられる。このため電力が電極中央付近に集中しなくなり、Case 3の場合より電極中央付近でのエッチング速度や I_{is} , また、 I_{ic} が小さくなると考えられる。しかし、通常のRIEであるCase 1に比べてエッチング速度は約2.5倍となった。電極間の電圧波形よりカソード前面のシースにかかる電圧を見積もったところ⁴⁾, Case 1では550 V, Case 4では145 Vとなった。これより、試料に入射するイオンのエネルギーはCase 4ではCase 1の1/4程度と考えられる。

Fig. 4 Relation between ion saturation current, I_{is} , and radial distance from center, r .

Fig. 5 Relation between etch rate and radial distance from center, r .

4. 結 論

平行平板型高周波プラズマ装置のカソードおよびアノード電極の裏側にドーナツ型の永久磁石を置き、酸素放電を発生させフォトリソグのエッチングを行った。カソードに small magnet, アノードに large magnet を置き、カソードのまわりのガード電極を電氣的に浮遊させ

ることにより，径方向に均一性のよいエッチングができた．この場合均一なエッチング速度が得られる理由について今後さらに検討する必要がある．

〔文 献〕

1) M. Sekine, M. Narita, K. Horioka, Y. Yoshida and

H. Okano: Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 6274.

2) 川田博昭，山本 孝，久保 隆，村田顕二：第57回
応用物理学会学術講演会予稿集（1996秋）5.

3) S. Miyake, N. Shimura and T. Makabe: J. Vac. Sci.
Technol. A10 (1992) 1135.

4) K. Kohler, J. W. Coburn, D. E. Horne and E. Kay: J.
Appl. Phys. 57 (1985) 59.