CF₄/Ar 1 MHz 放電における発光の時空間プロファイル*

楠 秀樹**・石川稜威男**・斉藤 幸典**・菅ノ又伸治**

(受理1994年11月24日, 掲載決定1995年2月4日)

Spatiotemporal Optical Emission Profile in 1 MHz Discharge in CF₄/Ar Mixture

Hideki KUSUNOKI, Itsuo ISHIKAWA, Yukinori SAITO and Shinji SUGANOMATA

(Faculty of Engineering, Yamanashi University, Takeda 4-3-11, Kofu, 400)

(Received November 24, 1994, Accepted February 4, 1995)

1. 緒 言

半導体製造工程におけるドライエッチングプロセスにおいてCF₄などの放電プラズマが応用されている。これらのガスは電氣的に負性なガスであり、その放電特性にはまだ不明な点が多く残っている。また実際のエッチングプロセスではこれらのガスは単体で用いることは少ない。我々はArにCF₄を混合したガスの放電において発光プロファイル（発光の時空間変化）や放電の電氣的特性について測定を行った。ここでは、その結果について報告をする。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の構成をFig. 1に示す。実験装置は前報¹⁾で用いたものと同様である。斜線を施した部分が電極であり、直径8 cm、電極間隔が2 cmの平行平板電極系である。放電電圧の測定は励振電極側（図中左側V）で行い、放電電流の測定は接地電極側（図中右側I）で行った。電極間の消費電力はこの放電電圧と放電電流より算出した。また、供給電力はこの放電電圧と励振電極側で測定した電流（J）より算出した。発光プロファイルの測定は2枚の平面鏡と1枚の球面鏡を用いて、電極間の発光を分光器の入射スリットの位置に結像して行った。1枚の平面鏡を電極の軸方向に動かすことで励振電極から接地電極までの発光を測定できるようになっている。

Fig. 1 Schematic diagram of experimental arrangement. FG: function generator, DSO: digital storage oscilloscope, M: mirror, PC: personal computer.

この光学系の位置分解能は約0.8 mmである。ガスの流量はニードルバルブを調整して行い、混合比は流量比によって定めた。

3. 実験結果及び考察

圧力66.5 Pa、電極間の消費電力0.5 Wの放電においてCF₄の混合比を変化させた場合の放電維持電圧と供給電力の変化をFig. 2に示す。Arガス100%の放電の場合には放電維持電圧は約280 Vであるが、CF₄を混合すると放電電圧は約320 Vと高くなる。しかし、CF₄の混合比を50%よりも大きくすると、放電維持電圧はAr

* 平成6年10月26日 第35回真空に関する連合講演会で講演

** 山梨大学工学部 (〒400 甲府市武田 4-3-11)

Fig. 2 Discharge-sustaining voltage and supplied power vs gas mixing ratio. Total pressure $P=66.5$ Pa (0.5 Torr), effective power between the electrodes $P_e=0.5$ W.

の場合より低下して CF_4 では220 V 程度まで下がる。このようにガスの混合比に対して放電維持電圧が線形に変化しないのは混合ガスの相乗効果であると考えられる。これは、Ar のバッシュン曲線の最小値をとる値が CF_4 よりも右にあたるためと考えられる。放電維持電圧の相乗効果は CF_4/N_2 混合ガス放電の場合にも観測されている¹⁾、そこで見られたような電気的負性による変化、即ち、 CF_4 の混合比が90~95%で放電維持電圧が低下するような変化は観測されなかった。 CF_4 の混合比が50%以下の場合には電極間の消費電力が0.5 W に対して供給電力が5 W 以上必要になり、これは放電が広がりやすい傾向があるためと考えられる。 CF_4 の混合比が50%以上になると供給電力は低下する。これらの電気的特性から、 CF_4/Ar 混合ガス放電では CF_4 の混合比が50%前後で放電形態が変化することがわかる。

放電構造をさらに詳しく調べるために分光測定を行った。 CF_4/Ar 混合ガス放電において、可視光域で発光スペクトルを観測した。その結果、400と700 nm 付近に Ar のスペクトルと300~400 nm にリークによる不純物の素素の発光も観測された。 CF_4 の混合比が大きい場合600 nm 付近に CF_4 の解離によって生じた CF_3 分子の連続バンド²⁾の発光が観測された。 CF_3 の連続バンドの発光や F 原子の弱い発光が観測されることは CF_4/N_2 混合ガス放電の場合と同様である³⁾。これらのスペクトル線のうち、Ar I 419.8 nm (励起しきい値14.6 eV)、750.4 nm (励起しきい値13.5 eV) 及び N_2 337.1 nm (励起しきい値11.1 eV) の線に着目して電極間での発光強度の変化を調べた。Fig. 3 に Ar ガス100% 圧力66.5 Pa、電

Fig. 3 Time-averaged emission intensity vs distance from the driven electrode in Ar discharge. $P=66.5$ Pa, $P_e=0.5$ W.

極間の消費電力0.5 W の放電での結果を示す。Ar I の2本の線は電極間で2カ所、ほぼ負グローに対応する発光のピークが観測される。一方、 N_2 337.1 nm の線の強度は電極間ではほぼ一様に分布している。このような強度分布の違いは、 N_2 337.1 nm の発光の励起に対する放電空間中の準安定状態原子 Ar^* の影響があると考えられる⁴⁾。図には示していないが N_2^+ 391.4 nm (励起しきい値18.7 eV) の発光には準安定状態原子 Ar^* の影響は観測されず、Ar のスペクトルと同様に電極間で2カ所、強度のピークが観測される。 CF_4 の混合比を50%にすると、 N_2 337.1 nm の線は Ar I の線と同様の分布をするようになる。このように CF_4 の混合比が大きくなると、準安定状態原子 Ar^* の N_2 337.1 nm の発光への影響は弱くなる。 N_2 ガス100%の場合には N_2^+ 391.4 nm の発光は N_2 337.1 nm の線よりも強く観測されるが⁵⁾、Ar 放電の場合には N_2^+ 391.4 nm の発光は N_2 337.1 nm の発光の100分の1程度になる。

放電構造をさらに詳しく調べるために発光プロファイルの測定を行った。一例として CF_4 の混合比が50%における、圧力66.5 Pa、電極間の消費電力0.5 W の場合の Ar I 750.4 nm の発光プロファイルを図4に示す。Ar ガス放電の場合には印加電圧が最大になる位相 ($\omega t = \pi/2, 3\pi/2$) で瞬時陰極前面に負グローの発光が電極間で2ヶ所観測されるのみである。放電の電気的特性のところでも述べたが Ar 放電の場合には放電が広がる傾向があり、発光プロファイルの発光強度も励振電極側で強く Fig. 4 に比べてやや非対称となっている。こ

Fig. 4 Spatiotemporal emission profile of ArI750.4 nm line in CF_4/Ar mixture discharge at Ar content of 50%. $P=66.5$ Pa, $P_e=0.5$ W.

れに対して CF_4 の混合比が50%になると、負グローの発光以外に、同じ位相で瞬時陽極側に発光が観測される。また印加電圧が0となる位相 ($\omega t=0, \pi$) でも発光が観測される。このような発光プロファイルは、強い負性を示す SF_6 ガス放電で観測されており^{5,6)}、 CF_4 ガスの場合でもその負性の影響が発光プロファイルに現れることがわかる。同様に、 CF_4/N_2 混合ガス放電においても負性ガスに特有の発光 ($\omega t=0, \pi$) は、観測されている¹⁾。Arに CF_4 を混合していくと、ガスの負性によりプラズマ部での電圧降下が大きくなるように電位分布が変わり、また電気二重層の構造が生ずるなど放電構造が変化する。その結果、プラズマ部に大きな電界を生じ、負グロー部以外でも発光が観測される^{5,6)}。このような発光は負性ガスに特有の発光であり、負イオンが放電空間中に存在することによって生じた空間電荷効果による

ものと考えられる。以上のことから、発光分布の測定においても CF_4 の混合比が50%前後で電気的負性のために放電構造の変化が生ずることがわかった。

4. 結 言

CF_4/Ar 混合ガス放電について放電の電気的特性及び分光測定を行った結果、以下のことがわかった。

1. CF_4/Ar 混合ガス放電では、Arの発光スペクトル線が400 nmと700 nm付近に観測される。また解離によって生じた CF_3 分子の連続バンドの発光が600 nm付近に観測される。これに比べてF原子のスペクトル線はごく弱い。

2. CF_4/Ar 混合ガス放電では、 CF_4 の混合比が50%付近を境に放電構造が変化する。これより少ない混合比では準安定状態原子 Ar^* の N_2 337.1 nm への発光への影響が強く、大きい混合比では弱くなる。

3. CF_4/Ar 混合ガス放電では、その発光プロファイルは負性ガスに特有の時間変化を示す。このような変化は CF_4/N_2 や SF_6 ガス放電と同様である。

最後に実験を協力して下さいました青柳健二君、阿部健君に感謝します。

【文 献】

- 1) 小林, 楠, 石川, 永関, 斉藤, 菅ノ又: 真空, **37** (1994) 308.
- 2) D. L. Flamm: J. Appl. Phys. **51** (1980) 5688.
- 3) 楠, 小林, 石川, 菅ノ又: 電気学会放電研究会資料 (1993) ED-93-79.
- 4) T. Makabe and M. Nakaya: J. Phys. D: Appl. Phys. **20** (1987) 1243.
- 5) I. Ishikawa, T. Amamiya and S. Suganomata: Jpn. J. Appl. Phys. **31** (1992) 4037.
- 6) Z. Lj. Petrović, F. Tochikubo, S. Kakuta and T. Makabe: J. Appl. Phys. **73** (1993) 2163.