高周波マルチキャピラリーイオン源による酸素励起線の発生*

岡本 昭夫**・小川 倉一**・上野 勉***・福居 滋夫***

(受理1993年12月17日, 掲載決定1994年3月5日)

The Product of the Oxygen Exited Beam by RF Type Multi-Capillary Ion Source.

Akio OKAMOTO**, Souichi OGAWA**,
Tsutomu UENO*** and Shigeo FUKUI***

**(Osaka prefectural Industrial Technology Research Institute, 2-1-53, Enoko jima Nishi-ku, Osaka 550)

*** (Cryovac Co., 2-12-14, Chifune Nishiyodogawa-ku, Osaka 555)

(Received December 17, 1993, Accepted March 5, 1994)

1. はじめに

高機能薄膜形成や無欠陥エッチング等を目指した活性ガス ($N_2 \cdot O_2$ など) の低エネルギーイオン照射を目的として, 13.56 MHz の RF 電力による誘導結合型放電とガス導入にマルチキャピラリーを組み合わせた“RF 型マルチキャピラリーイオン源”の開発を行ってきた¹⁾。

このイオン源の特徴であるマルチキャピラリーによる分子線集束効果を検討するため, 活性ガスに酸素を用いて励起種の生成, 及びその照射特性の評価を行った。投入電力や照射距離を変化させた種々の条件で, プラズマの状態についてはプラズマ発光分析, 及びイオンエネルギー分析を行い, また励起種照射特性についてはイオン電流密度・酸素励起種のフラックス量の測定を行った。それらをもとにして, 酸素励起線源としての有効性を検討した結果を報告する。

2. 実験装置と方法

Fig. 1 に本実験で使用した RF 型マルチキャピラリーイオン源の構成を示す。本イオン源は, 酸素ガスを分子線状態で導入するためのマルチキャピラリー M とプラズマ発生用の RF 電力を印加するコイル C, 及び放電室

D から構成されている。照射する励起線の分析にはプラズマ発光分析を用いて投入電力を変化させた場合の発光スペクトルを測定した。イオン電流密度の測定には孔径 $\phi 5 \text{ mm}$ のファラデーカップを用い, イオンエネルギー分析には 4 枚グリッド型エネルギーアナライザ²⁾を使用した。また, 酸素励起種のフラックス量測定には水晶振動子による Ag 薄膜の酸化増量の測定を行った。

3. 実験結果と検討

3.1 プラズマ発光分析

Fig. 2 に代表的な発光スペクトル (条件; 酸素分圧 $8.0 \times 10^{-2} \text{ Pa}$, RF 電力 200 W) を示す。この図から, 原

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus. M; Multi-capillary, C; RF coil, D; Discharge Chamber

* 1993年10月29日第34回真空に関する連合講演会において講演

** 大阪府立産業技術総合研究所 (〒550 大阪市西区江之子島 2-1-53)

*** 株式会社クライオバック (〒555 大阪市西淀川区千舟 2-12-14)

Fig. 2 Emission Intensity of Oxygen Plasma on condition that RF Power 200 W, Pressure 8.0×10^{-2} Pa.

Fig. 3 Emission Intensity of O^* (777.6 nm) and O_2^+ (563.2 nm) dependent on several RF Power. Pressure; 8.0×10^{-2} Pa.

子状酸素 O^* (777.6 nm) と O_2^+ (563.2 nm・525.6 nm) が強い発光強度を持つことが分かる。プラズマの状態を表す発光スペクトルの中で、 O^* (777.6 nm) と O_2^+ (563.2 nm) の2本のスペクトルに着目し、投入電力によるそれぞれの発光強度の変化を **Fig. 3** に記す。RF電力を変化させても O_2^+ (563.2 nm) の発光強度はほぼ一定値を取るのに対して、 O^* (777.6 nm) の発光強度は増加する傾向がある。この結果から、RF電力を変化させることにより O_2^+ に対する O^* の割合を定性的に制御することが可能なことが分かった。

3.2 イオン電流密度、及びイオンエネルギー分布測定

酸素分圧 2.7×10^{-2} Pa の時のイオン電流密度と RF 電力との関係を測定距離をパラメーターとして **Fig. 4** に示す。測定距離によらず RF 電力が増加するに従いイオン電流密度も大きくなるが、測定距離 120 mm の値に

Fig. 4 Relation between Ion Current Density and RF Power at Distance from The Source are 120 mm and 250 mm, Pressure; 2.7×10^{-2} Pa.

Fig. 5 Ion Energy Distribution at RF power 120 W, Pressure 2.7×10^{-2} Pa.

して 250 mm の値は約 1/2 程度で照射距離に対するイオン電流密度の減少は比較的小さいことが分かる。

これは、マルチキャビラリーによる分子線集束効果があるとともに、イオンの引き出し機構を用いていないことにより、プラズマとして輸送される効果があるためイオンの発散が非常に少ないと考えられる。

イオン源から 120 mm の距離におけるイオンエネルギー分布の一例を **Fig. 5** に示す。この図から、ピーク値約 70 eV、半値幅約 25 eV の低エネルギーで比較的低エネルギーの揃ったイオンビームが得られていることが分かる。

3.3 酸素励起種のフラックス量測定

酸素励起種のフラックス量測定は、銀が酸素分子では

Fig. 6 Time-Dependence of Mass Change on The Thickness Sensor at Distance from The Source are 120 mm and 250 mm, Pressure; 4.0×10^{-2} Pa, RF Power; 200 W.

酸化されず励起種（イオン，および原子状酸素）でのみ酸化される特性を利用して行った³⁾。イオン源から距離 120 mm，及び 250 mm の位置に銀を蒸着した水晶振動子をもつ膜厚センサーを設置し，酸化銀生成に伴う質量増加の時間変化から酸素励起種のフラックス量を算出した。Fig. 6 に照射時間と増加質量の関係を測定距離をパラメーターとして記す。また，この質量増加が取り込まれた酸素励起種の量であることから計算した照射時間 10 分毎の平均フラックス量を Table 1 に示す。

これらは，センサー設置直後からの測定結果であるが，10 分以上経過すれば安定し， 10^{14} 台のフラックス量を確保できていることが判る。測定は 40 分程度であるが，本励起線源は RF コイルがプラズマにさらされておらず，劣化する部分がないので実用上問題がない長時間にわたって安定して照射できている。また，測定位置に関わらずほぼ同じ量のフラックスが得られていることから，殆ど減衰なしに酸素励起種の照射が行えていることが分かる。これはマルチキャピラリーの分子線集束効果が酸素励起種の輸送に大きく寄与しており，放電室導入時の分

Table 1 Mean of the Oxygen Radical Flux for 10 min. at Distance 120 mm and 250 mm.
(unit; atoms/cm² sec)

Time (min.)	120 mm	250 mm
0-10	5.0×10^{14}	6.0×10^{14}
10-20	3.8×10^{14}	1.9×10^{14}
20-30	1.9×10^{14}	1.9×10^{14}
30-40	1.3×10^{14}	1.3×10^{14}

子線状態が維持されたまま輸送され，高密度の照射が実現できているためであると考えられる。

4. ま と め

活性ガスの低エネルギーイオン照射用“RF 型マルチキャピラリーイオン源”を酸素励起線源として用い，種々の特性測定を行ったところ以下のことが判明した。

- 1) プラズマ発光分析の結果より，投入電力を変化させることで O_2^+ に対する O^* の割合を定性的に制御できる。
- 2) 酸素イオン電流密度は RF 電力により制御することが可能であり，イオンビームとしても低エネルギーでかつエネルギーの揃った比較的拡がりの少ないビーム輸送が実現できている。
- 3) 酸素励起種フラックス量と照射距離との関係から，マルチキャピラリーの効果が大きく作用しており減衰の少ない遠距離輸送が可能である。

以上より，“RF 型マルチキャピラリーイオン源”を酸素励起線源として用いることは，酸素イオン・原子状酸素等の励起粒子輸送の面からも非常に有効であり，酸素のみならずその他の活性ガスをを用いた励起線照射への応用が期待できる。

〔文 献〕

- 1) 小川，岡本，福居，上野；真空，33 (1990) 356.
- 2) 宇佐美，鈴木，松井，後藤，山中；真空，29 (1986) 538.
- 3) V. Matijasevic, E. L. Garwin and R. H. Hammond; Rev. Sci. Instrum. 61, 1747 (1990).