小型電子サイクロトロン共鳴プラズマ源における振動励起状態 N_2 の閾値イオン化質量分析法による検出

Detection of vibrational excited states of N_2 in a miniature electron cyclotron resonance plasma source by threshold ionization mass spectrometry

北大工[1]，○(M1)細山 真ノ介[1]，佐々木 浩一[1]

Hokkaido Univ.[1], ○(M1) S. Hosoyama[1], K. Sasaki[1]

E-mail: hosoyama.shinnosuke.f5@elms.hokudai.ac.jp

【はじめに】

分子の振動状態を励起すると、触媒表面への化学吸着確率が向上することが報告されており、この化学吸着確率の促進は、プラズマの生成によって触媒表面での反応速度が向上する「プラズマ触媒」のメカニズムである可能性がある。触媒反応における振動励起状態の寄与を定量的に調べるためには、振動励起状態の密度や振動温度を簡単に測定する方法が必要である。本研究の目的は、N_2 の振動励起状態の検出に対する閾値イオン化質量分析法の適用性を検討することである。この測定原理は、振動励起状態のイオン化ポテンシャルが、振動基底状態よりも低いことによる。この手法を、放射光を用いた X 線吸収微細構造(XAFS)のオペランド測定を目的として設計された小型電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマ源に適用した。

【実験方法】

フォトンファクトリーのXAFS測定用の限られたスペースに設置できるように設計された小型プラズマチャンバーに、市販のECRプラズマ源を上部から挿入した。プラズマ源は、同軸スリースタブチューナーと同軸ケーブルを介して2.45GHzのマイクロ波電源に接続した。チャンバー内を排気した後、マスフローコントローラを用いてN_2を導入した。プラズマチャンバーは、直径0.5 mmのオリフィスを介して四重極質量分析計（QMS）を備えた別のチャンバーに接続した。QMSにおける電子線のエネルギーは可変であり、QMSにおけるイオン化反応$N_2+e \rightarrow N_2^+ + e + e$によって生成される$N_2^+$の電流を電子エネルギーの関数として測定した。この測定では、プラズマからQMSへのN_2^+の輸送がノイズとなったため、オリフィスとQMSを接続する真空配管を磁束密度が200Gの一対の永久磁石で挟むことでノイズを低減した。

【実験結果及び考察】

図 1 は、N_2^+の電流と QMS における電子ビームのエネルギーの関係を示している。プラズマの放電前後で 2 つの曲線を示した。放電前のプラズマチャンバー内の N_2 圧力は 1Pa、プラズマを生成するためのマイクロ波電力は 50W で、電子エネルギーが 18eV 以下になると電流が急激に減少した。これは、電子エネルギーがイオン化ポテンシャルに近づいているためと考えられる。なお、データベースに示されている N_2 のイオン化ポテンシャルは 15.6eV であるが、図 1 からは閾値電子エネルギーは約 16.5eV と読める。真のイオン化ポテンシャルと図 1 の曲線との差は、QMS での電子エネルギーの精度が不十分であることに起因していると考えられる。イオン化ポテンシャルに近い電子エネルギーにおいてはプラズマ生成時に得られた電流の方が大きく、振動励起状態を起源とするイオン化の寄与が認められる。

図 2 は、プラズマ放電が有無の場合の電流値の比とマイクロ波電力との関係を示している。マイクロ波電力は 10-70W の間で変化させた。この結果から、マイクロ波電力の増加に対して振動励起状態の密度（即ち振動温度）が増加するものと考えられる。

本研究は JST CREST (JPMJCR19R3)のサポートを受けている。

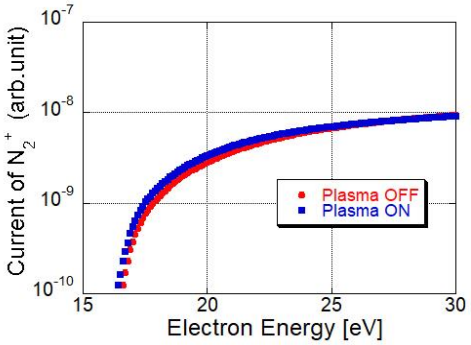

Figure 1. Threshold ionization curves of N_2 in the presence and absence of plasma.

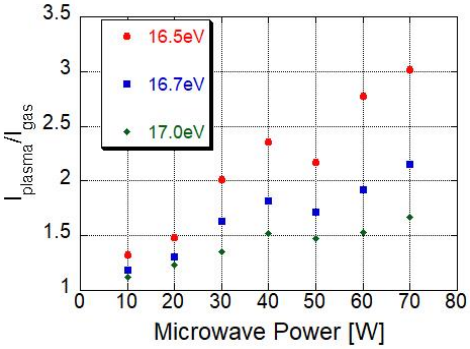

Figure 2. Ratio of currents observed with and without plasma as a function of microwave power.

© 2021年 応用物理学会