MgO(001)面からの電子衝撃脱離 I*

酒井 佐直**・後藤 哲二**・高木 祥示**・富永 五郎**

(受付1988年12月2日, 掲載決定1989年3月17日)

Electron Stimulated Desorption from MgO(001) I

Sukenao SAKAI**, Tetsuji GOTOH**,
Shoji TAKAGI** and Goro TOMINAGA**

(Toho University Funabashi-City, Chiba)

(Received December 2, 1988, Accepted March 17, 1989)

1. はじめに

MgOは低速電子衝撃に対して安定であるといわれている¹⁾。我々は電子衝撃によって、MgO表面近傍につくられるF⁺センターの生成過程を調べるうちに、低速電子でもO⁺の脱離を引き起こす可能性を示唆する結果を得た。そこで四重極型質量分析器を用いて、脱離イオンの種類、および強度の電子エネルギー依存性を調べた。得られた質量スペクトル (Fig. 1) には、H⁺、H₂⁺、C⁺、CO⁺とともにO⁺ピークも見られる²⁾。O⁺のイオン強度は電子エネルギーが80 eVあたりから増加し始める。MgOは2価のイオン性結晶であり、結晶中のMgの価数は2価と考えられる。その2P電子の電離エネルギーが80.1 eVであることからO⁺イオンの脱離機構は次のように考えられる。

- ① 入射した電子によってMg²⁺の2P電子が放出される。
- ② 電子を放出した後に残った正孔に、酸素イオン(O²⁻)の価電子帯から電子が遷移する。
- ③ この遷移の過程で1個ないし2個のオージェ電子を放出し、酸素イオンは中性または一価の陽イオンになる。
- ④ 酸素イオンが1価の陽イオンになった場合、このO⁺はクーロン反発力を受けて結晶から放出される。

質量分析器で検出されたO⁺イオンが、MgOから放出されたものか、気相及び吸着物質によるものなのかは判別できていない。これを判別するための手がかりを得るために、脱離イオンのエネルギー分布を測定する、飛行時間型分析器を試作した。

この報告では入射電子線をパルス化して用いる方法(パルス電子線方式)と、フライトチューブへのイオンの引き込みをパルス化する方法(イオンシャッター方式)とを比較し、この場合どちらが適切であるか検討した。

また飛行時間法では、四重極質量分析器と比較して、軽元素(H⁺、H₂⁺)に対して定量性がある事、及び陰イオンのエネルギー分析も可能であることも、この方法を採用した理由である。

Fig. 1 Mass spectrum of positive ions from MgO. It is get by quadrupole mass analyzer without ion source. Temperature of MgO is 300 K.

* 1988年11月10日 第29回真空に関する連合講演会において講演 (10Aa-9)

** 東邦大学 (千葉県船橋市三山2-2-1)

Fig. 2 Time Of Flight system. The line (a) represents the connection for the ion shatter mode. The dotted line (b) for pulsed electron mode. EG: electron gun, D: deflector, CT: detector, OSC: oscillator, CHOP: pulse generator for chopping ions or electrons, Diff: differential circuit, Delay: delay circuit, TAC: time to amplitude converter, MCA: multi channel analyzer, (c): ion shatter, (d)(f): electrostatic lens, (e): flight tube.

2. 実 験

試作した飛行時間型分析器と信号処理系を **Fig. 2** に示す。酸化物陰極の電子銃を用い、アインツェルレンズとディフレクターを使って、電子線を MgO 結晶に照射する。電子のエネルギーは 1 KeV 以下、連続電子電流約 0.1 mA をパルス化して実験を行った。MgO は空気中でへき解し、45度の入射角で電子線を照射するように設置した。飛行時間型分析器はイオンを加速する部分(c), フライトチューブのイオン透過率を上げるためのレンズ(d), フライトチューブ(e), 検出器にイオンを集束するためのレンズ(f), 及び 2 次電子増倍管 CT よりなる。イオ

ンの飛距離は 550 mm, 実験中の真空度は 1×10^{-8} Torr であった。

イオンシャッター式の場合, 発振器 (OSC) の矩形波を微分, 増幅 (CHOP) し振幅を大きくし, (c) に印加することでイオンのパルス化を行った (実線)。フライトチューブ系の電圧は $V1=10, V2=10, V3=10$ [V] である。

パルス電子線方式の場合, 電子銃のカソードウェネルト間のバイアスに加えて, 上述のパルス電圧をかけることにより, 電子のパルス化を行った (破線)。フライトチューブ系の電圧は(c)の電位及び $V1, V2, V3$ とともに 200 [V] であった。

パルス電子線のパルス幅はおおよそ 200 ns, 繰り返し周波数は 50 kHz で行った。ため込み時間はそれぞれ 5.1653×10^4 S, 1.59631×10^5 S である。

3. 結果と考察

得られた TOF スペクトルを **Fig. 3** に示す。(A)はイオンシャッター式, (B)はパルス電子線式の場合である。(A), (B)の横軸のフルスケールはそれぞれ 40 μ S, 20 μ S である。縦軸は対数目盛りで取ってある。

イオンシャッター方式の場合, 電子線を連続的に MgO に照射しているため, 主なバックグラウンドノイズとして試料から放出される軟 X 線によるものや, 試料面で反射した電子によるフライトチューブ内でのイオン生成によるものが見られた。このため H^+ ピークは見られるが, O^+ の信号はノイズに埋もれて確認できなかった。

しかしこの方法は, 電子を照射してからイオンを放出するまでの時間を含まないため, 脱離過程に要する時間が比較的長い場合等, この方法を採用した方がよい場合もある。

Fig. 3 (A) TOF spectrum observed by the ion shatter mode. Full scale is 40 μ s. Primary electron energy is 800 [eV]. The flight tube and lenses are applied 10 [V].
(B) TOF spectrum observed by the pulsed electron mode. Full scale is 20 μ s. Primary electron energy is 200 [eV]. The flight tube and lenses are applied 200 [V].

パルス電子線方式は上述のバックグラウンドノイズを容易に減らせる利点があり、 O^+ イオンピークも観察できた。この場合のバックグラウンドノイズは、電子線の切れの悪さによる上述のノイズの他に、ため込み時間が長いから、イオンポンプからのイオンや宇宙線等によるものが考えられる。

またこの方法は試料面の電子衝撃損傷を減らし、試料のチャージアップの効果を減らす利点もある。

軟 X 線のピークがイオンピークより遅れて現れている。これは TAC が軟 X 線により止められ、イオンピークのため込み効率を悪くすることを防ぐために、TAC のスタート信号に遅延回路を入れているためである。

電子線のパルス幅は、軟 X 線ピークのピーク幅が 200 ns であることからチョップ用パルス電源のパルス幅と一致している。各ピークのイオン種は左から H^+ , H_2^+ , O^+ である。最後のピークについては結晶を飛び出す初期エネルギーの値により、 O^+ , OH^+ , H_2^+ が重なるために同定できていない。

スペクトル中央当りのブロードなピークは、フライトチューブへのイオンの引き込み電圧を変えても移動しないことから、イオンピークではない。

5. ま と め

MgO からの電子衝撃脱離イオンのイオン種、及びそのエネルギー分布を調べるために、電子銃及び飛行時間型分析器を試作し、イオンシャッター方式とパルス電子線方式の 2 方法で使用した。この実験ではイオンシャッター式の場合、バックグラウンドが大きく H^+ 及び H_2^+ ピークしか観察できなかった。パルス電子線方式ではその他に MgO 起源と思われる O^+ のピークも観察されたが、 H^+ , H_2^+ の起源が MgO にあるのか吸着物質によるものかは未だ不明である。

〔文 献〕

- 1) H. Tokutaka, M. Prutton, I. Hifinbotham, and T. E. Gallon, Surf. Sci. 21, 223 (1970).
- 2) 高木ら日本物理学会1988年分科会 (5a-B4-1, P396)