MgO(001)からの電子衝撃脱離 (II)*

酒井 佐直**・鈴木 秀和**・高木 祥示**
後藤 哲二**・富永 五郎**

(受付1989年12月2日, 掲載決定1990年3月3日)

Electron Stimulated Desorption from MgO(001) (II)

Sukenao SAKAI**, Hidekazu SUZUKI**, Shoji TAKAGI**,
Tetsuji GOTOH** and Goroh TOMINAGA**

(Toho University Funabashi-shi, Chiba)

(Received December 2, 1989, Accepted March 3, 1990)

1. はじめに

電子衝撃によってアルカリハライドから陽イオンが脱離することが知られているが, MgOは低速電子線に対して安定であると言われている¹⁾. 我々は既に電子衝撃によってMgO表面近傍につくられるF⁺センターの生成過程を調べた. そして低速電子でもO⁺の脱離を引き起こす可能性があることを示唆する結果を得た²⁾. MgOから脱離するイオン種, および強度の入射電子エネルギー依存性を四重極質量分析器を用いて調べ, O⁺イオンの強度が入射電子エネルギー80 eV付近から立ち上がることから, MgOからO⁺が脱離する機構は原子間Auger遷移を伴うKnotek-Feibelman機構であることを明らかにした³⁾.

また, 四重極質量分析器の前に阻止電極を設置し, O⁺イオンのエネルギー分布を測定すると, 2つの異なるエネルギー分布をもったイオンが観測される. 飛行時間(TOF)型分析器を用いて脱離イオンの運動エネルギー分析を行った結果, TOFスペクトル中にO⁺と見られる2つのピークが観察された³⁾. 測定されたエネルギー分布は四重極質量分析器から得られるエネルギー分布と大体一致する. このことよりTOFスペクトル中に見られる2つのピークはともにO⁺イオンと考えられる.

本論文においては, このO⁺イオンの2つのピークについて, TOFスペクトルの入射電子エネルギー依存性と真空度依存性を測定することにより, これら2種類の酸素イオンの起源について検討する.

2. 実験・結果

試作した飛行時間型分析器をFig. 1に示す. 電子銃のカソード・ウェーネルト間のバイアス電圧の変調によりパルス電子線を得た. フライトチューブ先端のイオン

Fig. 1 Time of Flight system.

EG: electron gun, OSC: oscillator, CHOP: Wehnelt bias modulator, Diff: differential circuit, Delay: delay circuit, SCA: singlechannel analyzer, TAC: time to amplitude converter, MCA: multi channel analyzer.

* 平成元年10月26日 第30回真空に関する連合講演会

** 東邦大学理学部 (〒274 千葉県船橋市三山2-2-1)

Fig. 2 Spectra of flight time of ions normalized by electron irradiation time. Full scale of flight time is 20 micro second divided 1024 channels. The count is in log scale. Incident electron energy is 200 eV. -200 V was applied to the flight tube. Two O^+ ion peaks are observed. As electron irradiation (a), O^+ ions with faster velocity peak is smaller than the peak of the slower one. After heavy electron dose (b), the peak height of the faster one remained, but the slower one decreased.

シャッターや各静電レンズは全てフライトチューブ本体と同電位に保ち、イオンの飛行距離は550 mm、実験中の圧力は 9×10^{-9} Torrであった。パルス電子線の繰り返し周波数は50 kHzで1パルス当りの電子数は 8.7×10^6 個である。イオンの収量は、バックグラウンドやX線ピークを含めても1 cps程度である。

得られたTOFスペクトルをFig. 2に示す。横軸はイオンの飛行時間でフルスケール20 μs を1024チャンネルに等分している。縦軸は対数目盛りのカウント数である。右端の鋭いピークはMgOからのX線によるピークで、フライトチューブの引き込み電圧を変えても位置は変わらない。このピークは本来時間軸原点に現れることが望ましいが、X線と同期してイオンが放出されていると取り込めないためTAC (Time to Amplitude Converter: Fig. 1) のスタートパルスに遅延をかけて右端に表示している。このX線ピークを時間軸原点として1024チャンネルから0チャンネルに折り返し、 H^+ の大きいピーク、 O^+ の2つのピークが見られる。

Fig. 2は、電子線照射量に対するイオンの収量を調べるために、どちらもフライトチューブの引き込み電圧を-200 V、試料への入射電子エネルギー200 eVとし、同一条件で行った測定を、ため込み時間について規格化したスペクトルである。(a)は測定開始とともにパルス電子線を照射し始めた測定結果であり、(b)は何回かの測

Fig. 3 Spectra of flight time of O^+ ions in different residual gas pressure, the peaks are normalized by electron irradiation time. Full scale of flight time is 20 micro second divided in 1024 channels. The count is in log scale.

There are two O^+ peaks in the both spectrum. The peak height of the slower O^+ ions increasing with pressure.

定をパルス電子線を照射し続けて行った時の結果のひとつである。 O^+ 付近の2つのピークのうち、速い方のピークの収量は(a)から(b)でわずかに増加しているが、遅い方のピークは減少している。

Fig. 3はTOFスペクトルの残留ガス濃度依存性を調べたものである。(a)は圧力 9×10^{-9} Torr, (b)は 4×10^{-8} Torrで測定した結果である。これらも測定時間について規格化してある。残留ガス分子が多い環境では、 O^+ の遅い方のピークが増大することがわかる。

Fig. 4はTOFスペクトルの入射電子線エネルギー依存性について調べたものである。(a)は入射電子エネルギー100 eV, (b)は150 eV, (c)は200 eVによるスペクトルである。ピークの位置がよりはっきりするように縦軸は直線目盛りでとってある。100 eVでは O^+ イオンピークはバックグラウンドに埋もれてしまっははっきりしない。150 eVでは O^+ イオンピークが2つ並んで見えるが、200 eVになるとその大小がはっきり現れる。また、150 eVと200 eVを比べると、 O^+ の速いピークはその位置を変えないが、遅いピークは入射電子エネルギーが高い方が速くなっていることがわかる。これは遅い方の O^+ の脱離過程の途中に、何等かの形で入射電子との運動量の受渡しがあることを示している。

Fig. 4 Spectra of flight time of the ions with different incident electron beam energy smoothed by the moving average method. Full scale of flight time is 20 micro second divided in 1024 channels. The count is in relative linear scale. Incident electron energy 100 eV (a), the peaks of the slower O^+ and of the middle H^+ are hidden in noise. Both of (b) and (c), the faster O^+ ion peak appear on the same time, the slower peak of (c) faster than of (b).

3. 考 察

試料表面を脱離した直後にイオンが持っているエネルギーを決定するために、フライトチューブの寸法、電圧配置、脱離イオンの質量数、および脱離時のエネルギーをパラメータとして一価のイオンの飛行時間の計算を行った。計算結果の一例を **Fig. 5** のグラフに示した。縦軸はフライトチューブの引き込み電圧、横軸はそれに対する飛行時間で、図中の数字は質量数である。下図のスペクトルは引き込み電圧 -200 V の場合の一例である。計算結果と比較すると、脱離時のエネルギーが 5 eV 前後のイオンが放出されていることが分かる。

2つの O^+ については脱離時のエネルギーの関数として飛行時間を求め、スペクトルのピーク位置と比較した。その結果、 O^+ の脱離時のエネルギーは、速い方のピークで 6.0 ± 0.9 eV、遅い方のピークで 3.0 ± 0.2 eV となった。

Fig. 3 の結果では、遅い方の O^+ ピークは残留ガスが増加したときに収量が増加する。また、**Fig. 2** から電子線照射が長く続くと収量が減ることが分かる。さらに脱離後のエネルギーが 3 eV 程度であり、入射電子との間に何等かの運動量の相互作用があることから、遅い方の O^+ イオンは原子間オージェ機構によって脱離するものではない。速い方の O^+ イオンは電子線照射を続けても収量にそれほど変化はなく、また残留ガスが増加して

Fig. 5 Example of a flight time calculation of A^+ ion desorbed with 5 eV kinetic energy. The numbers in the graph are mass numbers. The spectra under the graph are one of time of flight spectrum with -200 V tube voltage. It is smoothed from **Fig. 2(a)**.

Fig. 6 Magnification of **Fig. 4**. The count is in relative log scale. There are 3 peaks of H^+ , and middle peak doesn't appear at incident electron energy 100 eV.

も増えることはない。また、**Fig. 5** では遅い方の O^+ が入射電子エネルギーが小さくなると収量も減少するのに対して、速い方の O^+ は 100 eV でも現れている。このことは原子間オージェ機構によって MgO から脱離する O^+ は、入射電子エネルギー 80 eV 以上であることに符合する。

Fig. 6はFig. 4の H^+ 付近を拡大したものである。入射電子エネルギー100 eVではFig. 4の O^+ の遅い方のピークは見え、Fig. 6では H^+ の収量が100 eVの場合だけ明らかに少ない。 H^+ のピークは100 eVの時に見える2つのピークと、それらの間に150 eV, 200 eVで現れる3つ目のピークが存在することがわかる。 O^+ の遅い方のピークと H^+ の中央のピークは、入射電子エネルギーが100 eVでは現れないという共通点があるため、この H^+ の中央ピークはOH起源である可能性が大きい。しかし、Fig. 5のグラフから分かるように H^+ 付近では1チャンネルの違いが脱離時のエネルギーの大きい違いとなって現れるため、 H^+ のエネルギー分析はまだ十分であるとは言えない。

4. ま と め

MgOから電子衝撃脱離する O^+ および H^+ イオンを観察した。MgOを構成している O^+ は脱離時のエネルギー 6.0 ± 0.9 eVで脱離することが分かった。また吸着物質の解離による O^+ の脱離時のエネルギーは 3.0 ± 0.2 eVであった。この脱離時のエネルギーの小さい O^+ は吸着OHに由来するものと思われる。

〔文 献〕

- 1) H. Tokutaka, M. Prutton, I. Hifinbotham and T. E. Gallon: Surf. Sci. 21, 223 (1970)
- 2) 高木祥示, 蝦名俊也, 後藤哲二, 富永五郎: 日本物理学会1988年分科会 (5a-B4-1, 第2分冊 P396)
- 3) 酒井佐直, 後藤哲二, 高木祥示, 富永五郎: 真空, 32, 196 (1989)