表面断層解析用装置による Si 表面層の観察*

黒河 明**・一村 信吾**

(受理1996年12月27日, 掲載決定1997年3月1日)

Observation of Si Surface with Instrument for Electron
Spectroscopic Tomography

Akira KUROKAWA and Shingo ICHIMURA

(Electrotechnical Laboratory, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305)

(Received December 27, 1996, Accepted March 1, 1997)

1. はじめに

表面分析に多く求められる固体表面の情報は元素の種類と元素組成比である。それらの知見に加えてさらに吸着・堆積原子の位置を原子レベルで得るための研究が始まっており光電子回折や低速電子線散乱などの電子の弾性散乱現象を利用して解析するアプローチが行われている。我々はこのような弾性散乱効果のみならず非弾性散乱効果をとらえることで固体表面の組成情報のほかにさらに結晶や表面の構造に関する情報を得ることを試みている。そのために固体の表面から放出される二次電子のエネルギー分析に加えて二次電子の放出角度分布の測定を行う装置開発を行い¹⁾, 表層付近を解析する表面電子分光断層解析法 (SET) の開発²⁾を目指している。本報では、そのための装置を評価するにあたり、まず弾性散乱現象に着目してシリコン表面からの二次電子やオージェ電子のエネルギーおよび角度の分布を得た結果について述べる。

2. 実験装置概要

Fig. 1 に使用している分析系の概要を示す。分析器^{2,3)}の検出立体角は極角方向で試料法線から $\pm 50^\circ$ の範囲, 方位角方向で 360° の範囲である。分析器内部の球状電界によってエネルギー選別された電子は、マイク

ロチャンネルプレート (有効径 $\phi 105$) で増倍されたのち蛍光スクリーン上に二次元像を投影し, 放出電子の角度分布が輝度像となって得られる。蛍光画像は液体窒素冷却 CCD カメラ (512 $\times$ 512 ピクセル, ダイナミックレンジ 16 bit) で撮像され, 蛍光強度から二次電子強度が得られる。励起源は, サブミクロンの微小領域観測を予定しているため電子線源を用いている。電子線のエネルギーは 200 eV $\sim$ 25 keV まで可変であり, その電子線はアナライザーの内部を貫通し試料表面に入射する。電子線は電界による偏向を抑えるためビームガイド内⁴⁾を透過させて試料面に導かれる。分析系全体のエネルギー分解能向上のために阻止電位の印加によるコンスタントパスモードでの動作が可能である。阻止電極は複数枚のメッシュからなりそのことによる透過率減少の軽減のため電極上の穴位置を極角方位角ともにその位相をそろえている⁵⁾。エネルギー分解能は AgMNN オージェスペクトルの解析法^{6,7)}からの評価では透過エネルギー 48 eV のとき 1.0% であった。

3. 実験結果

まず電子の弾性散乱現象が放出二次電子の角度分布に与える影響を見た。すなわちオージェ電子の弾性散乱による放出角度分布への影響を測定した。試料として Si (111) を用い 1000 $^\circ\text{C}$ の加熱を行って清浄面を作成し直ちに放出二次電子の角度分布測定を行った。角度分布像はエネルギーを 1 eV ステップで走査しながら連続的に得た (Fig. 2)。このときの励起電子線は 10 keV 10 nA,

* 平成 8 年 10 月 30 日 第 37 回真空に関する連合講演会で講演

** 電子技術総合研究所 (〒305 つくば市梅園 1-1-4)

Fig. 1 Schematic view of analyzer.

Fig. 2 Sequential acquisition of angular distribution.

カメラの露出時間はそれぞれ100秒であった。これらの像から各放出角度毎のエネルギースペクトル及び検出全立体角によるエネルギースペクトルが得られる。

LVV オージェピークはスペクトル上ではバックグラウンドと重なって現れる (Fig. 3)。ここでスペクトルは検出全立体角による信号強度を示している。オージェ電子強度として規格化強度を求めることとし LVV オージェ電子のピーク位置 (90 eV) での像 (I90) とバックグラウンド位置 (97 eV) での像 (I97) を選択した。そしてピーク強度とバックグラウンドの強度比 (I90-I97)/I97 を求めて規格化を行い描画した (Fig. 4)。この P/B 法による規格化によって、分析器透過関数のもつ角度

Fig. 3 Spectrum of Si(111) for total detection angle.

Fig. 4 Angular distribution of SiLVV Auger electron.

依存性の緩和と、MCP の各点における感度のばらつきの補正、および CCD の各チャンネル感度のばらつきの補正効果が期待できる。

Fig. 4 では、試料の法線方向に強度が大きい余弦形状の分布となっている。またわずかながら 3 回点对称性も見られた。ただその対称性を示している強度変化量は回転対称性のない余弦形状分布にくらべて相対的に小さい。そこでその変化量を見るため、試料を 60 度回転させてとった像と回転させる前の像の 2 画像の割り算を行ったものを Fig. 5 に示す。演算によって回転対称的な成分はのぞかれ、3 回点对称成分は強調される。この結果より信号強度分布が 3 回対称性をもつこと、またそれは約 10% の変化量であることがわかる。

この像は、Si LVV オージェ電子のエネルギー 90 eV にたいしての非弾性散乱自由行程 (IMFP) が 0.45 nm である⁸⁾ことからみて、表面数層内で散乱された電子に

Fig. 5 Contour plot of contrast-enhanced Angular-distribution. Each plots for every 3%.

よる寄与がもっとも大きい。またエネルギーも原子の列に沿って散乱がつづいて起こる多重前方散乱を引き起こすには十分でないことから、像であらわれた対称性はバルクの構造を反映したものではなく、表面数層の構造を反映したものであると思われる。

ただ Si(111)表面は 7×7 に再構成することが知られ

ており、表面数層の原子配置は 3 回対称なバルクとは若干異なる。像にはその再構成の情報が含まれている可能性もあるがその解析にはより精度のよい測定が必要であると思われる。

4. ま と め

表面断層解析装置による Si 表面からのオージェ電子の角度・エネルギー分布を測定した。その結果放出分布には回転対称の成分があることがわかった。これは表面数層における原子配位を反映したものである。

〔文 献〕

- 1) 黒河 明, 一村信吾, J. I. Jeong, J. Toth, 吉原一紘, 斉藤芳男, 佐藤吉博: 真空 38 (1995) 179.
- 2) H. Daimon: Rev. Sci. Instrum. 59 (1988) 45.
- 3) H. Daimon and S. Ino: Rev. Sci. Instrum. 61 (1990) 57.
- 4) 黒河 明, 一村信吾, 吉原一紘: 特開平 8-254598 荷電粒子ビームガイド
- 5) 黒河 明, 一村信吾, 吉原一紘: 特開平 6-196110 高透過率球状電極およびエネルギー分析装置
- 6) 黒河 明, 一村信吾, 吉原一紘, 真空 38 (1995) 777.
- 7) A. Tanaka, et al.; 日本学術振興会第141委員会第48回研究会資料 (1986) 49.
- 8) S. Tanuma, C. J. Powell and D. R. Penn: Surf. Inter. Anal. 20 (1993) 77.