

低速電子のエネルギー損失スペクトル

学習院大理 村田好正

低速電子のエネルギー損失スペクトルは、固体の表面近傍に局在した準位をしらべるのに有用な実験手段である。局在した準位としては、表面フォノンなどの振動準位と、電子準位とがあるが、ここでは後者に話をかぎることにする。その場合、励起源が低速電子であるために、実験結果の解釈に釈然としないものがあるので、話題提供をする。

まず、表面への研究の実例をのべる。第1の例はアルミニウム蒸着膜を用い、表面プラズマの分散関係から、金属表面での酸化膜の成長の機構をしらべたものである。¹⁾ 自由電子ガスの場合、誘電率 ϵ 、厚み D の酸化膜ができると、表面プラズマの分散関係は

$$\hbar\omega_s = \hbar\omega_p \left\{ \frac{\epsilon + \tanh kD}{[2\epsilon + (1 + \epsilon^2) \tanh kD]} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

で与えられる。 k は入射電子が励起する表面波の波数ベクトルで、エネルギー保存則と運動量保存則とより、入射角、散乱角を固定し、入射波の波数ベクトルが k に比べて十分大きい場合には、 k が求まる。従って表面プラズマ励起によるエネルギー損失値から、酸化膜の厚さが $30 \text{ \AA}$ 以下の領域で得ることができる。 $1 \times 10^{-8} \text{ Torr}$ で蒸着したアルミニウムについて、 E_p (入射エネルギー) = 300 eV で損失スペクトルの時間変化を測定し、アルミニウム上に成長する酸化膜の厚みの時間変化を得た。その結果、Mott の対数則にのることを見出した。

第2の例として、 $\text{Ni}(100)$ 上への酸素吸着で、 $E_p = 100 \text{ eV}$ で $\text{Ni}(100) - p(2 \times 2) - \text{O}$ から $\text{Ni}(100) - C(2 \times 2) - \text{O}$ までのエネルギー損失スペクトルをエネルギー分解能 $\Delta E = 0.3 \text{ eV}$ で測定したところ、 $p(2 \times 2)$ では 5.8 eV に現れた酸素吸着にともなう損失ピークが $C(2 \times 2)$ になると分裂し、 5.4 と 6.4 eV の2つの損失ピークになることが観測できた。²⁾ 同時に吸着量にともなう仕事関数の変化、内殻準位の励起によるエネルギー損失値の変化の測定も行ない、酸素の被覆率 $\theta = 1/4$ と $1/2$ とでの $\text{Ni}-\text{O}$ の結合の性質について、検討することができた。³⁾

第3の例として、Si(100), Si(111)で、きれない表面、 A_r^+ でたたいてがさがさにした表面、酸素を $\theta = 0.3 \sim 0.4$ つけた表面について、 $E_p = 100$ eV でエネルギー損失スペクトルを測定し、表面の性質に敏感なエネルギー損失ピークから、3つの表面準位にともなう損失値が観測できた。⁴⁾もしこの損失ピークの終状態が一致し、伝導帯中のあるエネルギーのところにあるならば、3種の表面準位が存在し、バルクのバンドギャップと対応してくる。

このように興味ある結果が得られ、今後の応用が大いに期待できるが、Born 近似が成り立つ場合、複素誘電率を ϵ とすると、エネルギー損失関数 $\text{Im}(1/\epsilon)$ (bulk), $\text{Im}(1/(1+\epsilon))$ (surface) で表され、電子の非弾性散乱の遷移はこれに比例することが理論的に導かれ、実験的にも導かれる。低速電子(ここでは $E_p \sim 100$ eV)では、これに何か他の項がつけ加わると思われる。もちろん回折の効果も入ってくるが、それは実験的に取り除き、素過程として低速電子の固体での励起の遷移確率が理論的にはつきりしてくると、(ϵ が定義できない系も含めて)、現在実験結果の解析につきまとう不確かさも除かれて、固体表面の研究を大いに発展させることができるであろう。

しかし、一方低速電子でもこの $\text{Im}(1/\epsilon)$, $\text{Im}(1/(\epsilon+1))$ が成り立つといっている例も Si(100), Si(111)の酸素吸着、酸化についての測定にある。⁵⁾実験的な立場から、現在この種のことを検討する測定を準備中であるが、理論的にも検討し、実験屋を安心させてほしい。

- 1) Y. MURATA and S. OHTANI, J. Vac. Sci. Technol, 9 (1972) 789.
- 2) S. OHTANI, K. TERADA and Y. MURATA, Phys. Rev. Lett, 32 (1974) 415.
- 3) Y. MURATA, S. OHTANI and K. TERADA, ICSS-II (京都) (1974)
- 4) J. E. ROWE and H. IBACH, Phys. Rev. Lett, 31 (1973) 102.
- 5) H. IBACH and J. E. ROWE, Phys. Rev. B9 (1974) 1951.