

低速陽電子による固体表面研究への期待 Expectation for Solid-Surface Studies by Slow Positrons

村田好正
Yoshitada Murata

Emeritus Professor, The University of Tokyo
e-mail: ssmurata(at)iis.u-tokyo.ac.jp

The work-function change for a K-covered Cu(001) surface has been studied as a function of K coverage. The variation in electron energy losses is in close accordance with the behavior of the valence resonance deduced from the work-function change. Scattering of the hyperthermal reactive (N^+) and non-reactive (Ne^+) ions from Pt(111) has been observed. The resonance-like scattering around specular reflection for N^+ was observed. These problems are closely related to the formation of negative positronium and the scattering of hyperthermal positrons.

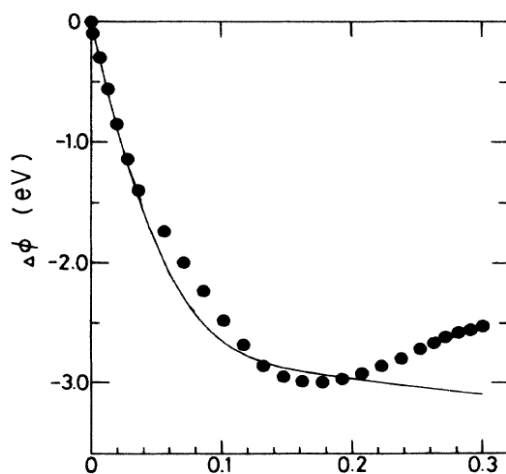
ポジトロニウム負イオンが高い生成率で生じるなど、この分野が大きく進展していることを今回知った。これに関連した我々の過去の研究をもとに期待することの一端を述べたい。20年以上前になるが、固体表面の研究に陽電子を使おうとして実験を始め、その後停年で止めたが、動機は低速陽電子が固体表面での動的現象を研究するよいプローブになると思ったからである。

1. Cu(001)表面での K 原子の吸着と仕事関数変化

ポジトロニウム負イオンの高い生成率を得る標的表面としてアルカリ金属が吸着した W 表面が使われている。そしてアルカリ金属吸着により仕事関数 ϕ が低くなることを利用している。そこで Cu(001)上の K 原子の吸着による仕事関数の変化 $\Delta\phi$ を取り上げる¹⁾。また参考に金属上のアルカリ金属吸着のレビューをあげる²⁾。

Cu(001)表面に K 原子を吸着し、 ϕ の被覆率 Θ 依存性を測ると、左図に示すように Θ が増すにつれて ϕ は $\Theta=0.18$ まで減少し、その大きさは 3.0 eV に達する。ただし、 Θ は基板金属表面の原子数に対する吸着原子数の比である。さらに Θ を増すと ϕ はゆっくり増加し、飽和吸着時 ($\Theta=0.37$, 単原子層)の減少量は 2.5 eV になる。すなわち ϕ は $\Theta=0.18$ に現れる最小値より 0.5 eV 増している。

この現象を理解するために低速電子のエネルギー損失スペクトルを測定した¹⁾。 ϕ の減少は吸着 K 原子の 4s 軌道に占める電子数の変化に起因する。吸着初期には K 原子の 4s 軌道には電子はなく K^+ であり、その鏡像電荷とで作るイメージ双極子が仕事関数を低下させ、吸着量が増すにつれて急激な仕事関数の減少を引き起こ



Work-function change as a function of K coverage on Cu(001).

す。さらに吸着量が増すと吸着原子間の反発を減らすために 4s 軌道の電子密度が増して、K イオンの電荷量が減る。その結果イメージ双極子は小さくなり、 ϕ はゆっくりと減少するようになる。そして $\Theta=0.18$ で 4s 軌道にほぼ 1 個の電子が入り、K 原子は中性化する。そして K 原子層は K 原子が正電荷を持つ 2 次元ガスから 2 次元液体に凝集する³⁾。

飽和吸着に近づくと、2 次元六方晶の最密充填格子になり、 Θ をさらに増すと、格子が少しずつ縮み、基板表面の 2 次元格子と吸着層の 2 次元格子との格子間隔の不一致が増すため、K 原子層が基板に対して回転を始める回転エピタキシーが低速電子回折で観測された⁴⁾。これは基板表面と K 原子層との間で電子の授受がない弱い相互作用になっていることを示唆している。

ポジトロニウム負イオンの生成率の Θ 依存性を測定したならば、どのような結果が得られるかが興味ある。単に生成率が $\Theta=0.18$ で最大となり飽和吸着まで変化しないのではなく、全く異なる結果が得られることを期待する。負イオンは表面から電子を 2 個取るから、化学的な観点からは陽電子が金属表面により強く還元されている。そこで還元剤として働くアルカリ金属単原子層、すなわち真空側から見た K 原子の化学的性質あるいは原子層の金属的性質が顕著に現れることが期待できる。

2. Pt(111)表面からの低速イオンの散乱

入射エネルギー30 eV で、 N^+ の反応性イオン、 Ne^+ の非反応性イオン⁵⁾、 N_2^+ 、 CO^+ の分子イオン^{5,6)}のイオン散乱を、エネルギー分析器を通して散乱角依存性を測定した。 N^+ の場合のみに鏡面反射方向に共鳴現象のような強い弾性散乱の強度が観測された。しかしこの原因は解明していない。

N^+ と Ne^+ を比べると、 Ne^+ は1回衝突、 N^+ は2回衝突で散乱されてくる。また N^+ の散乱イオンは Ne^+ とは異なり、ほとんど非弾性散乱を受けずに散乱される。それらを考えると、 N^+ は2回衝突の最初の衝突で、表面に垂直な成分を持たずに、表面に並行方向に散乱し、2回目の衝突で鏡面方向に強く散乱したイオンが生き残ると考えられる。この共鳴的な現象がPt表面に特有な現象と推測される実験結果を得ているが（未発表）、数10 eVのポジトロンの散乱はこの現象の解明に有用な知見を与えるかもしれない。これも真空側から見たPt(111)表面の電子物性を反映しているのであろう。

References (参考文献)

- [1] T. Aruga, H. Tochiyama, and Y. Murata, Phys. Rev. B **14**, 8237-8245 (1986).
- [2] T. Aruga and Y. Murata, Prog. Surf. Sci. **31**, 61-130 (1989).
- [3] T. Aruga, H. Tochiyama, and Y. Murata, Surf. Sci. **175**, L725-L729 (1986).
- [4] T. Aruga, H. Tochiyama, and Y. Murata, Phys. Rev. Lett. **52**, 1794-1797 (1984).
- [5] G. Herrmann, M. Okada, and Y. Murata, J. Chem. Phys. **114**, 6861-6868 (2001).
- [6] G. Herrmann, M. Okada, and Y. Murata, J. Chem. Phys. **115**, 1009-1014 (2001).