

クーロン階段の解析による金ナノクラスターの 化学ポテンシャル計測

大木泰造・迫坪行広・藤田大介*・大塚洋一

筑波大学数理物質科学研究科物理学専攻 ☎ 305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

*独立行政法人物質・材料研究機構ナノマテリアル研究所 ☎ 305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

(2005 年 4 月 27 日受理)

Measurement of Au Nanocluster Chemical Potential by the Analysis of Coulomb Staircase

Taizo OHGI, Yukihiro SAKOTSUBO, Daisuke FUJITA* and Youiti OOTUKA

Institute of Physics, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8571

*Nanomaterials Laboratory, National Institute for Materials Science, 1-2-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047

(Received April 27, 2005)

We introduce a measurement method for measuring the chemical potential of gold nanoclusters, which are bound to Au (111) substrate through tunneling barrier, by using scanning tunneling spectroscopy. Tunneling spectra show Coulomb staircase, by which the chemical potential of nanoclusters can be determined. The statistical analysis is performed on the position of the chemical potential of the nanoclusters relative to the Fermi level of the substrate. We found that the chemical potential of gold nanoclusters distributes around the Fermi level of the substrate and the standard deviation depends on the size of clusters. This size dependence of the deviation clearly shows the process of the charge neutrality breakdown of clusters.

1. は じ め に

バルク金属から電子をひとつ取り出すのに必要なエネルギー、あるいはバルク金属へ電子をひとつ加えたときに得られるエネルギーはどちらも等しく仕事関数（真空準位と化学ポテンシャルの差）となるが、ナノ構造体ではそれぞれイオン化ポテンシャル、電子親和力となり異なる値をもつ。これはナノ構造体の化学ポテンシャルが量子力学的な効果や静電的な効果により電子の個数に依存することによる。単一電子トランジスタ¹⁾に代表される将来のナノデバイスの多くはこのようなナノ構造体の性質を利用すると考えられるが、そこではナノ構造体とバルク外部電極の化学ポテンシャルの相対的な位置関係が動作の重要な鍵を握ると思われる。しかしながら、これまで『ナノ+バルク』の系で両者の化学ポテンシャルの配置を系統的に調べた例はあまりない。我々はこのようなナノ構造体、ここでは金ナノクラスターがバルクの金属とトンネルバリアを介して弱く結ばれた系におい

て、それらの化学ポテンシャルがどのような配置をとるのかを知る目的で系統的な実験を行っている^{2, 3)}。本稿ではその手段としてクーロン階段（Coulomb staircase）を解析する手法を紹介し、この方法を用い金クラスター/ジチオール分子膜/金（111）の系における金クラスターの化学ポテンシャルを調べた最近の結果を紹介する。

2. バルク金属とナノ構造体のカップリング

化学ポテンシャル（あるいは仕事関数）の異なる2つのバルク金属を電子がトンネルできるくらいの距離に近づけると、Fig. 1 (a) (b) にあるようにポテンシャルが高い方から低い方へと電子が移動し、化学ポテンシャルの差と界面で生じる静電ポテンシャルの差が等しくなるところで平衡状態となる。一方、原子、分子、ナノ構造体などがバルク金属へ近づく場合には Fig. 1 (c) (d) (e) に示すように様子は大きく異なる。バルクの場合、その電気化学ポテンシャルは電子数に大きく依存しないが、孤立したナノ構造体の場合には下のように余剰電子数に依存する。

$$\mu(N) = F(N) - F(N-1)$$

E-mail: ohgi@1t.px.tsukuba.ac.jp