

この図から、接触領域では、hollow サイトの電気伝導度が最も高く、さらに hollow サイトの中でも、2 層目に原子がある hcp サイトが、原子のない fcc サイトに比べ、高い電気伝導度を有することが判る。

面白い点は、この電気伝導度の大小関係が、間隔を 20 pm ほど空けたところで逆転することである。図 2 で、 $\Delta z = -35$ pm での電気伝導度を見ると、on-top サイトでの電気伝導度が他のサイトに比べて高くなっていることが見て取れる。接触時の電気伝導度は、接触サイトによって、大きく依存することが、この研究により明らかとなり、接触サイトすなわち接触時の原子配列が規定されていないことが、これまでの研究において見られた測定値のバラツキの原因となっていると推測された。

on-top サイトと hollow サイトでの接触電気伝導の違いや、間隔の変化に伴う電気伝導度の逆転現象は、接触時の電気伝導度とその原子配列に大きく依存していることを意味している。そしてこのことは、探針先端原子と試料表面原子との間に働く化学結合を考慮することにより、定性的に説明される(図 3)。探針を近づけると、まずは on-top サイトで試料原子との間に化学結合力が及ぼされ、電気伝導に寄与するチャンネルが形成されて電気伝導度が高くなる。しかしこのサイトでは、近づけても結合する原子の数は変わらない。一方、hollow サイトでは、化学結合形成およびチャンネル形成までは探針をさらに近づける必要があるが、3 つの原子と結合しチャンネルを形成するので接触状態では電気伝導度は高くなると予測される。すなわち、 $\Delta z = -35$ pm 付近における on-top サイトでの高い電気伝導度は、そのサイトでの原子位置が高いためであり、接触時での hollow サイトにおける高い電気伝導度は、接触する原子数が多いためと考えられる。ただ、現段階では、hcp サイトと fcc サイトでの電気伝導度の差など単純には説明できず、全ての現象が説明されているわけではない。今後のさらなる理論的研究が待たれている。

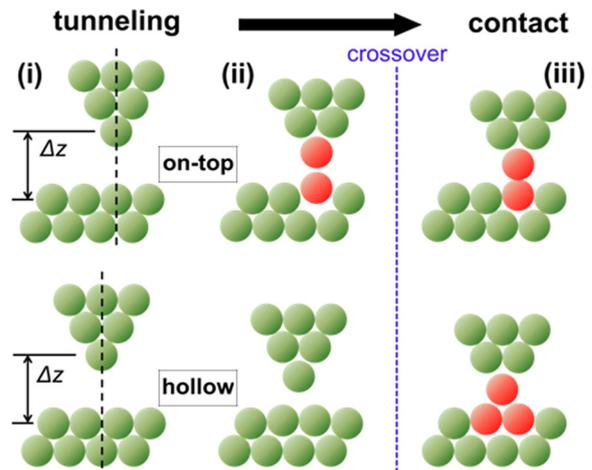


図 3 : 原子直上と 3 つの原子の間での接触における原子間の化学結合と伝導チャンネル形成の様子

この電気伝導測定は、低温 (2.1K) で行っており、探針試料ともに超伝導状態での測定である (電気伝導度は超伝導ギャップより高い電圧で測定)。このため、接触領域において測定される電流電圧特性には、ジョセフソン電流や多重アンドレーフ反射による特徴的構造が現れる。多重アンドレーフ反射の解析から、伝導チャンネルの数やその透過確率を計測することができるので、現在、伝導チャンネルの数やその透過確率と接触原子サイトとの関連や間隔依存性を探る研究にも取り組んでいる [2]。これらの精密計測を通じて原子間接触における電気伝導の解明が進み、原子スケールデバイス・単分子デバイスなどの次世代素子の高機能化に繋げることができればと期待している。

[1] Howon Kim and Yukio Hasegawa, "Site-dependent evolution of electrical conductance from tunneling to atomic point contact" Phys. Rev. Lett. 114, 206801 1-5 (2015).

以下のサイトにも紹介記事が掲載されている。

Physics Focus, "Atom-Scale Ohmmeter" <http://physics.aps.org/articles/v8/48>

Physics World; "Tiny probe reveals electrical conductance of individual atoms"

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2015/jun/02/tiny-probe-reveals-electrical-conductance-of-individual-atoms>

Nanotechweb.org, "STM avoids 'tip crash'" <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/61378>

2Physics; <http://www.2physics.com/2015/07/site-dependent-evolution-of-electrical.html>

[2] Howon Kim and Yukio Hasegawa, "Site-dependent conduction channel transmission in atomic-scale superconducting junctions", arXiv:1506.05528 (2015).