# 原子尺度的欧姆表

(北京大学 朱 星 编译自 Adam Mann. *Physics*, May 22, 2015)

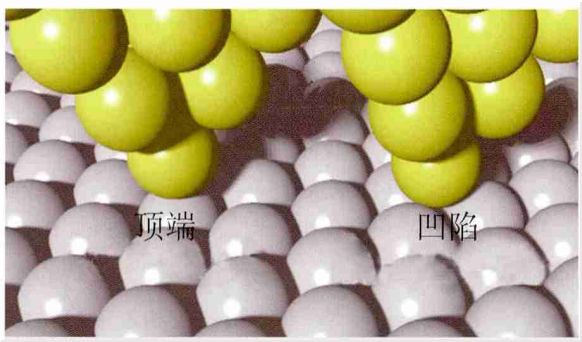
一种高度稳定的扫描隧道显微镜(STM)可以在小于原子尺度范围精密测量金属的电学性能。

扫描隧道显微镜可以在表面对单个原子成像，或者移动单个原子。研究人员最近进一步提高了这个仪器的精确性，可以对铅表面单个原子附近不同位置的电导进行测量。这个结果或许有助于揭示金属和超导体的性质的差异，未来或许可以用于纳米加工技术。

一台STM的探针非常尖锐，尖端只有一个原子，将探针在真空中操控到距离表面极近的位置。电子可以在加有电势的间隙之间越过，或者称隧穿。当探针在表面运动时，记录通过探针的电流可以对表面成像。另外一种STM技术是将探针保持与表面接触，使得探针原子与样品表面形成化学键。研究人员使用这种被称为点接触技术，可以测量一种材料原子尺度的电导性质，了解在量子物理中电流是如何流动的，此时传统的欧姆定律不再成立。

问题的难点是，当探针与表面接触时，可能会影响或者损坏样品，甚至会遗留下纳米尺度的污染物。这些效应使得在原子尺度高精度地跟踪探针位置，并且保持探针和表面的原状极其困难。东京大学的Yukio Hasegawa等人想出一种防止探针撞坏的方法，他们使用非常稳定的铅制探针，可以有效地减少机械振动与电磁噪音。这个系统能够直接准确地测量铅在原子级结构确定位置的电导。这台超高真空STM在2.1 K极低温条件下研究材料的原子成像、隧道谱和电导。

铅的点阵上的原子就像层状排列的弹球，形成周期性规则的几何形状。当STM探针靠近这个区域时，电子以隧穿形式流过，电导相对均匀。他们选择铅Pb探针在Pb(111)表面扫描，产生原子接触的位置有不同类型，如在原子顶端、过渡区域、凹陷区(密排六角hcp或者面心立方fcc区)等。研究人员发现，当探针非常接近一个原子顶端时，电导会比在原子间高。而在凹陷区，hcp位置的电导高于fcc区。




扫描隧道显微镜探针的尖端是单个原子，可以在表面上接触不同的位置。探针在左侧位于一个原子的顶端，右侧是在三个原子中的凹陷处。使用一台高度稳定的STM轻轻接触表面，而不产生损坏，可以测量表面不同位置上电导的差异

但是当他们让探针与点阵接触，在原子之间的空间中的电导变得很大，而且在不同类型的位置时电导也不同。比如，在三个原子相交的凹陷处，正好对应下一层突出的原子，此时电导值极大，而在两个相互接触的原子位置的电导处于中间值。同时，他们还在原子分辨的STM成像中观察到与电导变化相应的表观原子高度变化。

研究人员根据理论模型将这个现象解释为原子间化学键的差异，因此通过这样可以产生电子的隧穿。在隧穿状态，当STM探针稍微提高，并不完全与铅原子接触时，探针与样品的作用是通过突出表面的原子实现的，因此，在此处电导增大。但是，在点接触状态，当探针与金属接触时，它将与很多原子形成化学键。形成的键越多，电子的通路越多，因此，电导也会增加。

Hasegawa等人希望使用这种STM技术研究电子对(库珀对)，库珀对是当铅的温度降到足够低转变为超导体时的现象，可用的电子通道数目应当与导电类型相关。他们还认为，可以将这个技术用于纳米器件的构筑，更加深刻地理解在原子不同位置的电子流动的关键问题。

“这是一项很好的系统研究”，座落于法国斯特拉斯堡大学的国家科学研究中心(CNRS)的STM专家Laurent Limot说：“他们真正做到点对点的成像。”当其他小组尝试用别的技术进行与位置相关的测量，如测量$C_{60}$分子单键和双键的区别时，还不能像他们一样使用点接触技术进行多点的电导成像。更多内容详见：H. Kim，Y. Hasegawa. *Phys. Rev. Lett.*，2015，114：206801。



?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net