

原子操作による人工二次元電子系の創成

Formation of Artificial Two-dimensional Electron Systems by Atom Manipulation

○南任 真史¹、石橋 幸治¹ (1. 理研)

○Masashi Nantoh¹, Koji Ishibashi¹ (1.RIKEN)

E-mail: nantoh@riken.jp

グラフェンやトポロジカル絶縁体の発見などにより、低次元電子系や表面の電子状態そのものへの関心が高まっている。Cu、Au、Pt などの (111)面が持つ表面準位は、自然に存在する二次元電子系であり、s 電子が放物線的なバンド分散を示し、二次元面内で自由電子的に振る舞うことが角度分解型光電子分光により確認されている。STM を用いた実験では、ステップや吸着原子に散乱された電子が作り出す定在波やその干渉も観察されている。本研究では、これらの表面に原子や分子を規則正しく等間隔に配列することで、表面準位に二次元周期ポテンシャルを導入し、新たな電子状態を人工的に創り出すことを目的とした。

実験は、液体ヘリウム温度、超高真空下で観察が可能な自作の STM 装置を用いて行った。Cu(111) 単結晶試料を清浄化して得られた原子オーダーで平坦な表面に、20 nm×20 nm の範囲に数十個程度の原子・分子を低温で吸着させ、STM の探針を用いた原子操作の手法を用いてポジショニングを行って人工的な二次元格子を形成した後、トンネル電子分光により電子状態を観察した。清浄表面で測定したトンネルスペクトルには、-2.0 eV 付近に Cu3d バンドに対応するピークが、-0.4 eV 付近に表面準位の Cu4s バンドの底に対応する立ち上がりが見測された。Fe 原子を微量蒸着した後、Fe 原子からなる微細構造の上で測定したスペクトルには、+2.0 eV 付近に Fe3d の離散的な準位が見測されたが、フェルミ準位近傍には目立った構造は現れず、Cu4s バンドと Fe4s 電子の弱い結合が示唆された。実際、10 mV より高いバイアス電圧で STM 測定をすると、Fe の孤立原子の位置が頻繁に変化した。STM の探針を Fe の孤立原子に近づけて弱く結合させ、そのまま表面をスライドさせる手法を用いることで、30 個程度の Fe 原子を 2 nm 程度の間隔で配列させて三角格子 (図) 及び四角格子を創り出すことに成功した。定在波の様子が格子の形状に依存することから電子状態も異なると考えられたが、トンネル電子分光を行うと Fe 原子が動いてしまうため観測出来なかった。そこで、より基板と強く結合する、CO 分子を用いて同様の実験を行った結果、格子の位置に依存するスペクトルの変化が見測され、この手法で新たな電子状態が創り出せることが確認された。現在、吸着種の種類と格子の形状の組み合わせを増やす方向で実験を進めている。

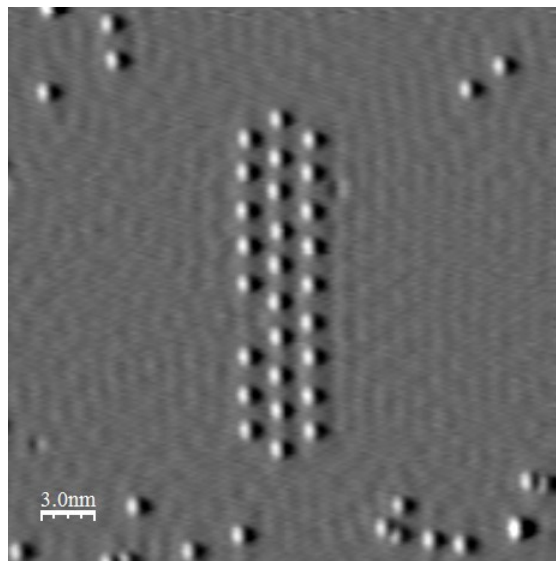


図. 原子操作により Cu(111)面上に形成した Fe 原子の三角格子