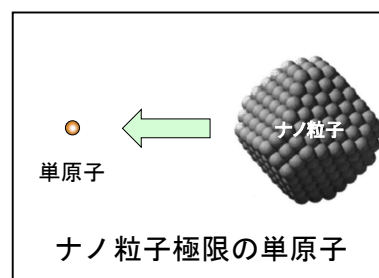


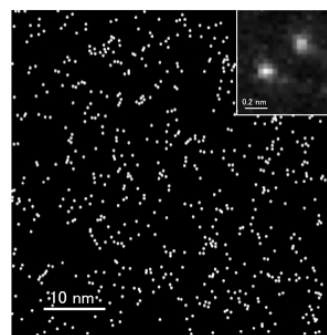
# グラフェン上への単原子分散と 電顕による吸着サイトの原子分解能イメージング

北海道大学 工学研究院 応用物理学部門  
郷原一寿、前原洋祐、山崎憲慈  
*Applied Physics, Dept. of Eng. Hokkaido Univ.*  
K. Gohara, Y. Maehara, K. Yamazaki

微小サイズのナノ粒子はバルク状の物質と異なり、特異な性質を示すことから、様々な分野で応用されており、基礎的な研究も活発に行なわれている。特に、ナノ粒子の最小サイズである単原子（右図）を触媒として応用する「単原子触媒」は、二酸化炭素削減および再生エネルギー増大などに向けた次世代の触媒であり、夢の触媒として大きな関心が寄せられている<sup>[1], [2]</sup>。しかし、粒子サイズが小さくなると、粒子同士は凝集しやすくなり、単原子の分散体を生成することは一般的に容易では無い。



我々はナノ粒子の最小サイズである単原子そのものをイメージングの対象とするために、孤立した単原子をフリースタンディングなグラフェン上に担持する手法について研究した結果、プラズマスパッタリングによって、単原子の分散体を作製する方法を見出した。一つの具体的な例を以下に示す。化学気相成長法（CVD）により独自に作成したグラフェンを TEM グリッドに転写後、白金をスパッタリングし、収差補正透過電子顕微鏡、XPS などにより計測し詳細な解析を行なった。STEM 像をもとに得られた例を右図に示す。白い多数の輝点は、サイズ（右上の拡大図参照）および EDX から白金の単原子であることが特定でき、この例では白金原子の総数は 712 個であった。また、それぞれの原子に対して、最近接原子間距離を求めた結果、ほぼ全てが  $3.0\text{\AA}$  以上であり、固体結晶の平均原子間距離が約  $2.7\text{\AA}$  であることから、白金原子は互いに相互作用の無い単原子と考えられる。さらに、白金原子が吸着しているサイトは主にナノスケールのグラフェンのステップエッジであること、単原子の電子状態が特異なこと、分散した状態で 1 年以上存在していることなどが明らかとなって来た。



単原子分散体(白金)の例

スパッタリングによるグラフェン上への単原子分散体の作製方法は、数十種類以上の常温固体の元素に適用可能であり、単原子触媒、薄膜、デバイス、バイオなどへの応用、および核生成、ナノクラスター形成、触媒活性、物理的・化学的な反応過程などを原子スケールで解明するための基礎的な研究に繋がることが期待される。

[1] Accounts of Chemical Research, 46 (8), 1740-1748, 2013.

[2] Energy Environ. Sci., 9, 687-708, 2016.