

高エネルギークラスターイオン利用研究最前線

高速 C_{60} イオンによるナノ粒子の楕円変形とイオントラック形成の低エネルギー化

物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点

雨倉 宏

60 個の炭素原子が六角形や五角形の辺を組み合わせて作るサッカーボールのような形の分子 (直径 0.7nm) は C_{60} とかフラーレンと呼ばれます (図 1)。Kroto らは 1985 年にこの分子を発見し、1996 年にノーベル化学賞を受賞しました。 C_{60} 分子をイオン化すると加速器で加速することができますが、それほど簡単ではありません。高崎研では長年にわたり数 MeV 域の大電流 C_{60} イオンビームを安定に実現する研究を行ってきており、イオン電流値は現在世界一です。本講演ではその技術を使って実現した二つのトピックを紹介します。

1) 数百 MeV の単原子イオンと同じ効果を 1/100 のエネルギーの C_{60} イオンで実現!

ガラスなどに分散させた球形の金属ナノ粒子に 100 MeV 級の重イオンを照射すると全てのナノ粒子が (ビームと) 同一方向に楕円変形し、非等方的なプラズモニックナノ光学素子 (例えば偏光方向で異なる光スイッチングする素子) への応用が期待されます。しかし百 MeV のイオンを発生できる加速器は国内に数ヶ所もなく、楕円化技術の応用を阻害します。 C_{60} イオンは 60 個の炭素イオンが C_{60} 分子のサイズ (直径 0.7 nm) に一度に打ち込まれるので、単原子イオンより極めて大きなエネルギー付与を起こします。だから数 MeV の C_{60} で数百 MeV の単原子イオンと同じナノ粒子楕円化が起こせます (図 2)。数 MeV を発生できる加速器なら国内そこら中にありますので、楕円化現象の産業応用がひとつ近づきました。

2) 比較的強い核的阻止能と比較的強い電子的阻止能を同時に実現!

イオンは低エネルギー域では原子との衝突による核的損失、高エネルギー域では電子的損失でエネルギーを失います。 C_{60} は上にも書いたように、60 個のイオンが同時に打ち込まれるため、核的阻止能も電子的阻止能も巨大になります。中間エネルギー域では両者の競合効果が起こりえます。シリコンに電子励起効果のみでイオントラック損傷を形成するには 17 MeV 以上のエネルギーが必要なのですが、わずか 4 MeV の C_{60} 照射でトラックが確認されました (図 3)。本来起こりえない 4 MeV でのトラック形成は競合効果が示唆されます。

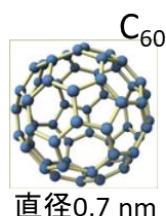


図1. C_{60} 分子のイメージ。

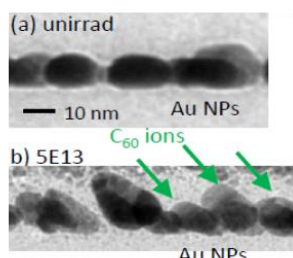


図2. 上:照射前のAuナノ粒子の電顕像。下:斜め45度から C_{60} イオン照射した後(楕円化)。

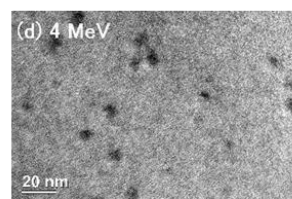


図3. 4 MeV C_{60} イオン照射したSi表面の電顕像。