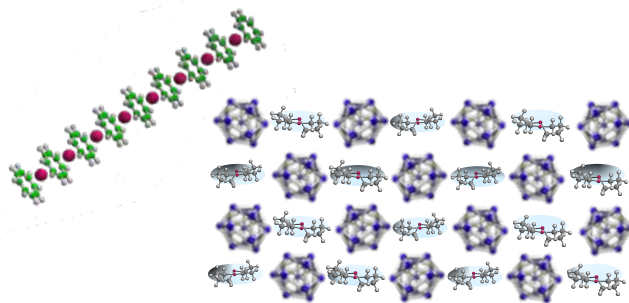


# 作る。ナノクラスターを

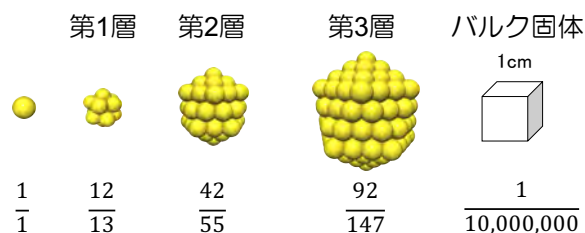


**ナ**ノクラスターとは、数個から数百個の原子・分子が集合した、数ナノメートルサイズの超微粒子（ナノ粒子）のことです。

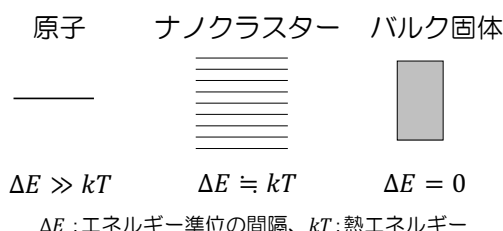
原子・分子より大きく、バルク（固体や液体）よりも小さいナノクラスターは、そのどちらとも違う特異な性質や機能を有することから、触媒、電子・エネルギー変換デバイス、磁気デバイスなど、幅広い応用が期待されます。

## ナノクラスターの特徴

### ■ 表面原子の割合が高い



### ■ 電子構造が離散的（量子化）



高效率、  
精密に

私たちは、ナノクラスターを精密に作り、その物性を基礎レベルで究明することを通して、新しい応用の創出に挑戦しています。

この研究成果は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）および安城市ものづくり企業研究開発推進事業補助金の支援を受け、株式会社アヤボとの共同研究で得られました。



慶應義塾大学 工学部 化学科 物理化学研究室 教授  
慶應基礎科学・基盤工学インスティテュート (KIPAS) 主任研究員

中嶋 敦

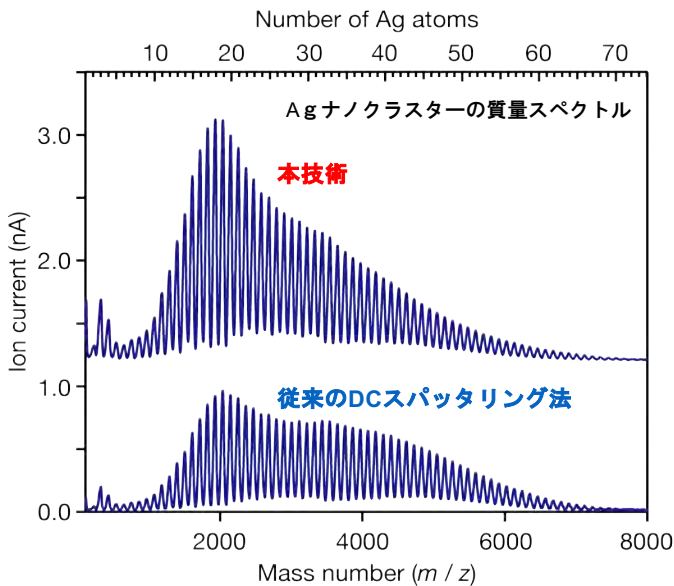
# 気相で作る

## HiPIMS による金属・半導体ナノクラスターの乾式合成

HiPIMS（高出力インパルス・マグネトロンスパッタリング）法は、ナノクラスターを気相合成するための有力な手段の一つです。しかし一方では、収量・収率やクラスターサイズを選択性の向上という課題が残されています。私たちは、この課題を解決する新技術を開発しました。

### 技術のポイント

- **パルス放電**（スパッタリング）電圧に波形変調をかけると同時にデューティ比を調節する。
- クラスタ成長チャンバーの出口に阻止電極を設け、スパッタリング電圧に遅延同期された電場を印加する（**パルスゲート法**）。



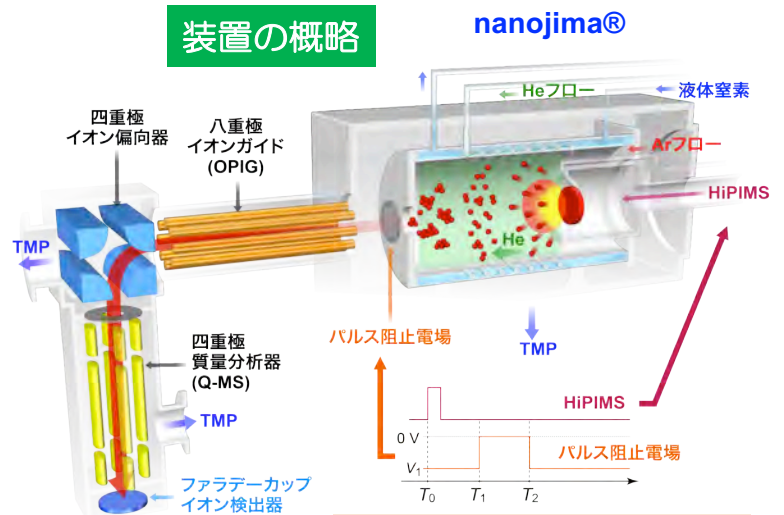
### 高 選択性を実現

パルスゲート（パルス放電と同期したパルス引き出し）を加えると、選択性はさらに高まります。

右図：タンタル(Ta)-シリコン(Si) 複合ナノクラスターのサイズ分布変化。時間ゲートの遅延時間を変化させています。

この例に限らず、ほとんどすべての金属と半導体元素のナノクラスターの生成が可能です。

### 装置の概略

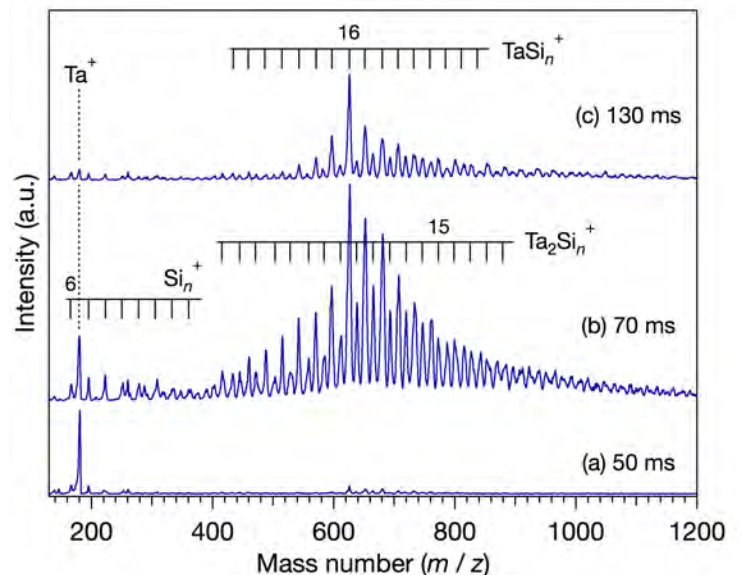


特許第5493139号 (2014.3.14)

### 高 収量を実現

パルス放電技術を採用することで、従来の直流法に比べて高い収量を実現しました。パルス放電条件（デューティ比、電力）を調節することにより、サイズを選択することが可能です。

左図：銀(Ag)ナノクラスター負イオンのサイズ分布



# HiPIMS-DiLET による半導体ナノクラスター分散体の合成

HiPIMS（高出力インパルス・マグネトロンスパッタリング）法によって、高い収量でナノクラスターを合成し、真空中で液体に直接打ち込む（DiLET法）ことによって、ナノクラスターが液体に分散した、分散液の作製に成功しました。

## 技術のポイント

- HiPIMS による、高い選択性・収量の実現
- クラスターを真空中で、直接液体に打ち込むことで、量を損なうことなく合成が可能にし（DiLET法）。1時間あたり数 mg の合成量を達成。

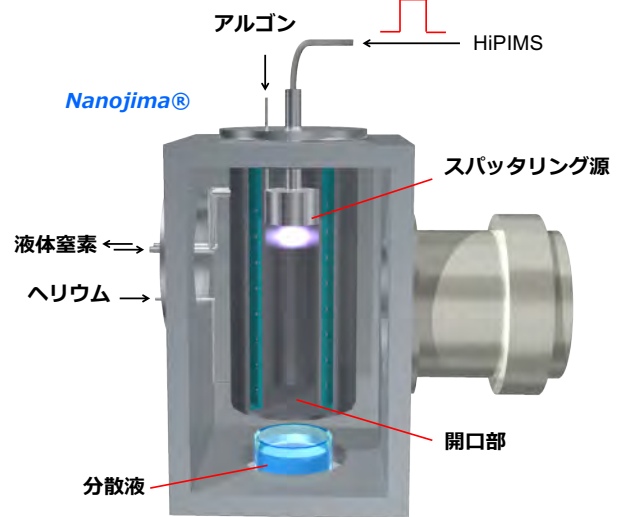


上図：様々なナノクラスターの分散液・分散体

## クリーンな合成

真空中の一貫プロセスでナノクラスターを合成するため、ナノクラスターが酸化して変質したり、大気中の水分と反応して変化することがありません。作製したシリコンケージ超原子は、酸化しやすいシリコンを含んでいますが、酸化されていません。

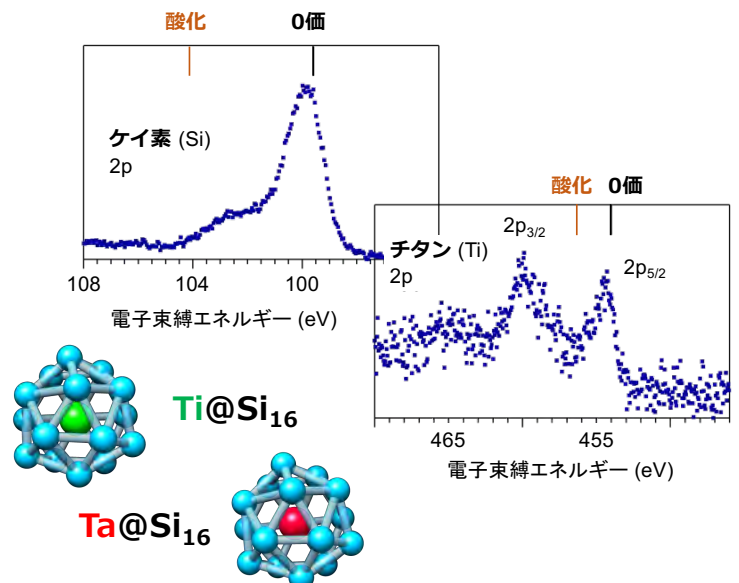
## 装置の概略



## 大量合成

真空中で作製したナノクラスターを、直接液体に打ち込んで捕捉することによって、1時間あたり数 mg 程度の合成スケールを達成しました。

下図：M@Si<sub>16</sub>ナノクラスター超原子の合成



ナノクラスターを液体に分散することで、塗布してフィルムを作製したり、プラスチック中に混合分散したりでき、応用範囲が広がります。