

2P033 微細構造を有する基板の上に構築された粒径選別ナノ粒子物質系の生成

(慶大理工¹・JST-CREST²)

直野泰知¹，川端小百合¹，Huh Seung Hun¹，田口洋介¹，三井正明¹，中嶋敦^{1,2}

【序】

粒径が数ナノメートル(nm)から数十 nm のナノ粒子は、金属結晶内を運動する電子の波長や平均自由行程と同程度、或いはそれ以下のサイズとなることに由来して電子閉じ込め効果やバリスティック伝導などのナノ構造体に特有の性質を示すことが知られている。これらのナノ粒子は量子ドットレーザーや単一電子トランジスタなどのデバイスへの応用に向けて現在精力的に研究が行われているが、常温でも有用な物性を発現させる上では数 nm オーダーの均一な形状のナノ粒子を数 nm から数十 nm 程度の間隔で精密に配列させることが課題となっている。

この問題に対して、我々はナノ粒子の調製、および配列制御法として(1)ガス中レーザー蒸発法によるナノ粒子の生成と、(2)ナノサイズのパターンを有するテンプレート基板上への蒸着法に注目した。ガス中レーザー蒸発法はあらゆる固体金属試料に対して適用できる上、目的とする元素以外の不純物の混入を極力排除することのできる極めてクリーンなナノ粒子の製法である。さらに、このように生成したナノ粒子を単位として配列させ、二次元ナノ構造体をテンプレートを用いて構築する手法を組み合わせることにより、高い制御性が期待できる。例えば、電子線リソグラフィー等の微細加工技術を用いることで数十 nm 程度の間隔を有するテンプレート基板を作成することは比較的容易に実現できつつあるので、ナノ粒子超格子の作成とその光学および電子特性の評価は二次元物質系に新しい視点を与えると位置づけられる。

本研究では粒子の形状、および配列が制御されたナノ粒子薄膜の物性を系統的に評価することを目的とし、その第一段階として、レーザー蒸発法によって生成させた金属ナノ粒子に対してガス中移動度を利用した粒径選別器によるサイズ選別を行い、ナノサイズの微細構造を有する種々の基板上に担持することでナノ粒子薄膜を生成する方法の確立を行った。

【実験装置】

装置の概念図を図1に示す。金属ナノ粒子はレーザー蒸発法を用いて生成させ、ヘリウムガスによって微分型電気移動度粒径選別器(Differential mobility analyzer : DMA)に導入した後、DMAによって選別された粒子を直下にある蒸着チャンバーへと導入して、蒸着基板上に蒸着した。蒸着基板には電子線リソグラフィーによる微細加工を施したシリコンウェハを用いる。ここでは、DMAの選別能の評価と、それに適したシリコン基板の作成を中心に研究を進めた。粒子および基板の評価には、走査型電子顕微鏡(SEM)、走査型プローブ顕微鏡(SPM)、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。

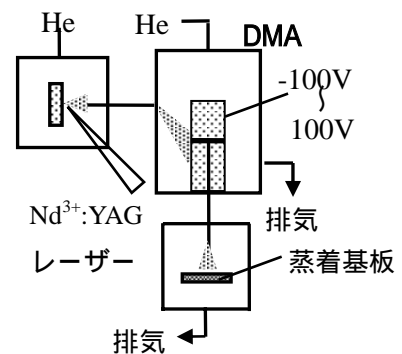


図1 装置図

【実験方法・結果】

(a) 微分型電気移動度粒径選別器(DMA)による粒径選別

Nd³⁺:YAG レーザーの第2高調波(532 nm, 最大出力 90 mJ/pulse)を標的金属板に対して集光、照射することによって金属蒸気を生成させ、ヘリウムガスを流すことによってナノ粒子に成長させる。生成した粒子はヘリウムガスによって DMA へと導入され、DMA 内部を鉛直方向に流れるヘリウムガスと DMA の中心部へと向けて印加された電場によって特定粒径のナノ粒子のみを蒸着チャンバーへと導入する。ヘリウムガスの流量及び電場の調整によって、本装置は 1 nm から 10 nm 程度までの粒子を選別することが可能である。蒸着チャンバー内では電流測定によって粒子量を見積もることができ、粒子量を最適化した後にあらかじめナノサイズのパターンを施した基板に蒸着させることで、ナノ粒子薄膜を生成させる。

図 2 には DMA によって選別された金ナノ粒子の透過型電子顕微鏡(TEM)による観察像と、TEM 観察像より測定された粒径分布を示す。選別された粒子は直径が 5.7 ± 0.5 nm であり、粒径の均一性という観点からは金属微粒子溶液を還元することでナノ粒子を得る液相合成法と同程度の精度で分級できることがわかった。現在、選別された粒子同士の凝集を防ぎ、10 nm を超える大粒径のナノ粒子に対しても形状を均一な球形に制御する方法について検討を行っている。

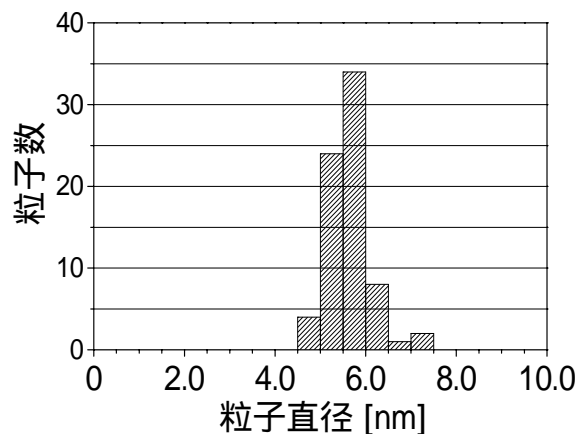
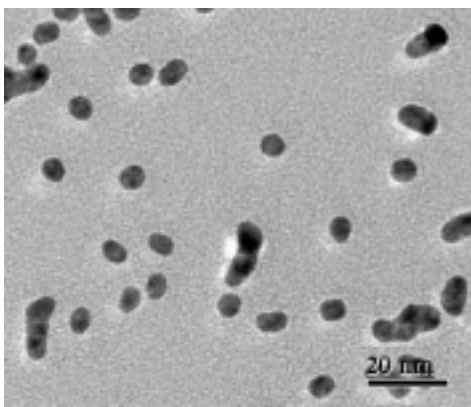


図 2 DMA によって選別された金ナノ粒子($d = 5.7 \pm 0.5$ nm)の TEM 像(左)と粒径分布(右)

(b) 蒸着基板の調製

蒸着に用いる基板は主に電子線リソグラフィーを利用して調製した。表面を酸化させたシリコンウエハにレジストを塗布し、電子線リソグラフィーによるパターン描画とエッチングを行うことで、目的の位置にナノ粒子を担持させるのに適したテンプレートの作成を行っている。図 3 には電子線リソグラフィーを行った基板の SEM 像を示す。現時点では孔径 50 nm のパターンを描画することに成功しているので、今後基板上的パターンの微細化と蒸着粒子サイズの最適化を行うことで、二次元ナノ粒子超格子の生成を目指す予定である。

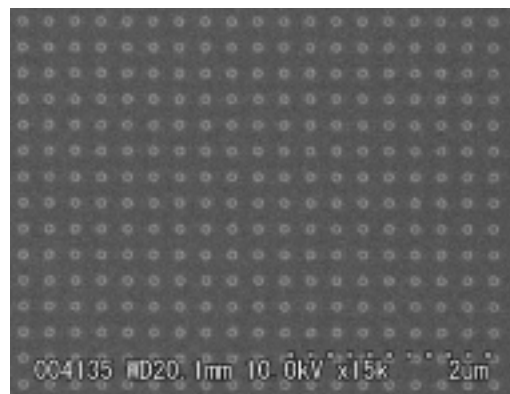


図 3 電子線描画によりレジスト上に描かれた細孔(直径 50 nm)