

## 自己組織化によって生成した金微粒子ワイヤの電気伝導特性

(東北大・多元研<sup>\*</sup>, 東大院・理<sup>\*\*</sup>) 米田忠弘<sup>\*</sup>, 掛札洋平<sup>\*</sup>, 吉本真也<sup>\*\*</sup>, 長谷川修司<sup>\*\*</sup>

【序】ナノ微粒子とそれらの集合体は、特異な電気伝導特性を示す可能性がある。工業的には、それらはガスセンサーなどのデバイスとして有用である。自己組織化を用いて微粒子を集積化することで、一般に安価かつ高速に、大面積に規則的なパターンを形成することが可能である。我々は、リソグラフィ法を用いずに複雑なパターンを形成するために、散逸構造と呼ばれる非平衡・非線形現象に基づくダイナミックな規則的パターン形成プロセスに注目した。

金コロイドを分散させたメタノール溶媒を半導体基板表面で自然乾燥させると、幅約 5  $\mu\text{m}$ 、長さ数 mm の金微粒子集合体ワイヤが約 20  $\mu\text{m}$  周期で配列した構造が作製される。本件研究では、生成したワイヤに対して、超高真空四探針 STM を用いて電気伝導特性を評価した。その結果ワイヤが極めて高い抵抗を示すことが明らかになった

また、ワイヤ構造を加熱すると抵抗が劇的に減少することが分かった。

【実験】実験には CRL 社製、直径 20 nm の金コロイド水溶液を調製して使用した。金微粒子のみを遠心分離によって沈殿させ、上澄みを除去した後、メタノールにそれぞれ再分散させた。再分散後の溶液中の金コロイド濃度はすべて  $3.5 \times 10^{11} \text{ ml}^{-1}$  に調製した。

上記の手順によって作製した金コロイド溶液を、GaAs 基板(抵抗率  $\sim 1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ )の入ったバイアル瓶中に静かに滴下した。このとき、基板表面と液面のなす角が約  $120^\circ$  になるようにした。その後、室温で自然乾燥させることで溶媒を全て除去した。乾燥後の GaAs 基板表面に作製された金微粒子ストライプ構造に対して、四探針型走査トンネル顕微鏡(4T-STM)を用いて電気伝導特性の評価を行った。電気伝導特性の測定は全て四端子法を用い、室温、 $6.4 \times 10^{-7}$  Torr 以下の真空環境下で行った。基板の加熱は試料下部に設置した低抵抗 Si(100)基板(抵抗率  $\sim 0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ )の通電過熱によって行った。加熱は 170  $^\circ\text{C}$ 、1 時間の条件で行った。

【結果と考察】GaAs 基板表面に作製された金微粒子ストライプ構造の抵抗測定中の SEM 観察像を図 1 に示す。原子間力顕微鏡などを用いた測定によって、これらのワイヤの幅、周期及び高さはそれぞれ約 5  $\mu\text{m}$ 、20  $\mu\text{m}$  および 20 nm(monolayer に相当)であることがわかっている。独立した 4 本の探針を用いることで、微小構造物に対してプローブ間隔を任意に変化させて四端子測定を行うことが可能である。本実験では、線幅 5 および 8  $\mu\text{m}$  のワイヤに対し、プローブ間隔を 5~50  $\mu\text{m}$  の範囲で変化させて抵抗を測定した。線幅 5  $\mu\text{m}$  のワイヤの抵抗のプローブ間隔依存性を図 2 に示す。抵抗

がプローブ間隔に比例していることから、一次元的な表面電気伝導特性を示していることがわかる。作製されたワイヤは、 $3.4 \times 10^7 \Omega/\mu\text{m}$  ときわめて高い抵抗を示すことが明らかになった。この値は、金薄膜や過去に報告された金微粒子自己組織化構造と比較してきわめて高い。その原因としては、(1)微粒子の充填率が低い、(2)微粒子間が点接触的、および(3)微粒子凝集時に表面に吸着した水や有機分子によって抵抗が増大しているということが考えられる。

次に、幅  $8 \mu\text{m}$  の金微粒子ワイヤ構造に対し、基板を加熱したときの抵抗の変化を観察した。その結果を図 3 に示す。加熱前に測定した幅  $8 \mu\text{m}$  のワイヤの、長さあたりの抵抗は幅  $5 \mu\text{m}$  のものの約  $1/10$  であった。この結果は断面積の変化のみでは説明できない。すなわち、(1)試料作製条件(気温など)のわずかな変化によって充填率が変化した、あるいは(2)全体の抵抗に対し electrical connection の数の寄与は非線形的であることが示唆される。170 加熱後のワイヤの抵抗は  $1.3 \times 10^2 \Omega/\mu\text{m}$  であり、加熱前の抵抗( $\sim 2.1 \times 10^6 \Omega/\mu\text{m}$ )と比較して劇的に減少していることが分かった。これは、加熱によって微粒子間の電気的接触が改善されたことに起因すると考えられる。

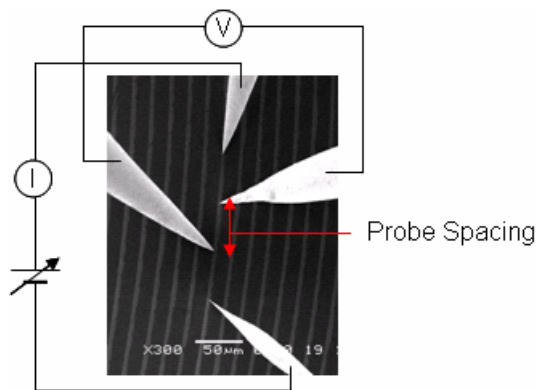


図 1 生成された金微粒子ストライプ構造の SEM 観察像および四端子測定の様式図。

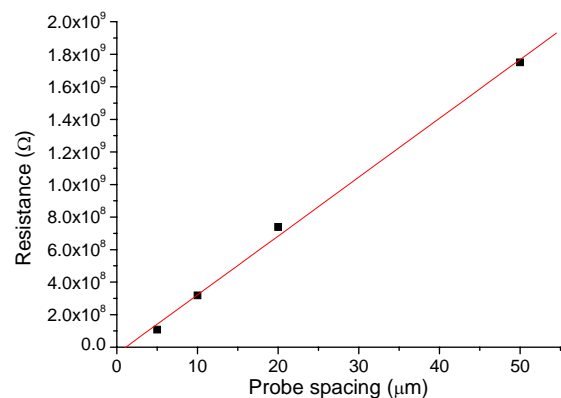


図 2 幅  $5 \mu\text{m}$  の金微粒子集合体の電気伝導特性測定。

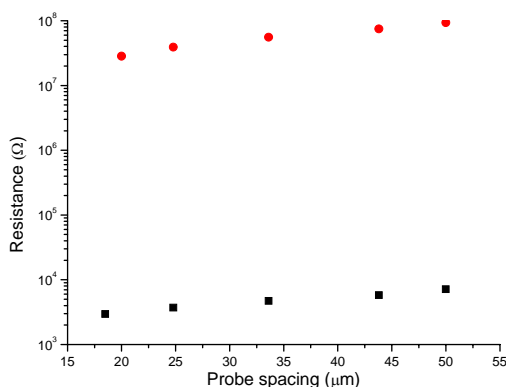


図 3 幅  $8 \mu\text{m}$  の金微粒子集合体ワイヤの電気伝導特性測定。(●)加熱前、(■)170 °C、1 時間加熱後。