

高速重イオン照射によるナノ粒子の形状・物性制御

Control of Shape and Properties of Nanoparticles by Swift Heavy Ions

雨倉 宏¹⁾ 大久保成彰²⁾ 石川 法人²⁾
Hiroshi AMEKURA Nariaki OKUBO Norito ISHIKAWA

¹⁾物質・材料研究機構

²⁾原子力機構

(概要) SiO₂中に埋められた ZnO のナノ粒子構造を、イオン注入熱酸化法[1]と CVD 法を組み合わせ形成し、タンデム加速器により 200 MeV Xe¹⁴⁺ イオンで $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{13}$ ions/cm² の範囲で照射した。照射量 1×10^{13} ions/cm² 以上で、方向に依存する偏光吸収が観測されナノ粒子の楕円化が示唆された。透過電子顕微鏡観察からもナノ粒子の楕円化は確認されたが、楕円変形したナノ粒子は ZnO ではなく Zn であることが判明した。つまり高速重イオン照射は ZnO ナノ粒子を還元し、さらに還元された金属 Zn ナノ粒子を楕円化させることが明らかになった。

キーワード：ナノ粒子の照射誘起楕円変形、ion beam shaping、照射誘起還元、直線二色性分光

1. 目的

SiO₂中に埋め込まれたナノ粒子が高速重イオン照射によりビームと同じ方向に伸びて、楕円形ナノ粒子、さらにはナノロッドに変形する現象が報告されている。この現象は同一方向に配向した楕円ナノ粒子/ナノロッドを一度に多数形成できる手法として注目を集めている。しかし、これまで本現象は Au, Co, Ag, Pt など多様な金属ナノ粒子で観測されているものの、金属以外は唯一半導体 Ge ナノ粒子において観測されているのみである。本研究では、SiO₂中の埋め込まれた半導体 ZnO ナノ粒子へ高速重イオン照射を行い、楕円化が起こるかどうかを実験的に検証した。

2. 方法

ZnO ナノ粒子は、シリカガラス(SiO₂)に対して Zn イオンを 60 keV で 1×10^{17} ions/cm²まで注入した後、酸素雰囲気下 700°Cで 1 時間熱処理して形成した[1]。形成された ZnO ナノ粒子は主にシリカガラス表面に存在するため、Tetraethoxysilane を用いた CVD 法でナノ粒子上に SiO₂を 300 nm 堆積し、埋め込まれたナノ粒子構造を形成した。この試料に対して東海研究所のタンデム加速器を用いて、200 MeV Xe¹⁴⁺ イオンを照射量 $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{13}$ ions/cm² の範囲で照射した。試料の評価として、可視・紫外光域での直線二色性分光、低角度入射 X 線回折、透過電子顕微鏡(TEM)を用いた断面明視野観察、高分解像観察、局所電子エネルギー損失分光 (EELS) 測定を行った。

3. 結果及び考察

直線二色性分光の測定の結果、照射量 1×10^{13} ions/cm²以上の試料において、光吸収スペクトルが偏光方向によって異なることが観測され、ナノ粒子が楕円化していることが示唆された。断面 TEM 観察を行ったところ、ナノ粒子の一部が楕円変形を起こしていることが確認されたが、高分解観察の格子像から楕円変形したナノ粒子は ZnO ではなく Zn である可能性が指摘された。そこで局所 EELS 測定でナノ粒子と近傍の SiO₂部分での Si, O, Zn 濃度を測定し検討したところ、楕円形のナノ粒子は金属 Zn から成ると結論された。つまり、高速重イオン(SHI)照射により一部の ZnO ナノ粒子が還元を起こし、金属化した Zn ナノ粒子が更なる SHI 照射により既に知られている[2]ように楕円化を引き起こしたものと考えられる。

4. 引用(参照)文献等

- [1] H. Amekura and N. Kishimoto, *Fabrication of oxide nanoparticles by ion implantation and thermal oxidation*, in "Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology" Vol. 5, ed. by Z. Wang (Springer, New York, 2009), pp. 1~75.
[2] H. Amekura, et al. Phys. Rev. B 83, 205401 (2011).