

## 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 Ion Irradiation

雨倉 宏<sup>1)</sup>

大久保成彰<sup>2)</sup>

石川 法人<sup>2)</sup>

Hiroshi AMEKURA

Nariaki OKUBO

Norito ISHIKAWA

<sup>1)</sup>物質・材料研究機構

<sup>2)</sup>原子力機構

(概要) シリカガラス(SG)中に埋め込まれた金属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る現象のメカニズムとして、イオンハンマリング(IH)効果の関与が示唆されている。我々は直線偏光二色性分光(OLD)法を用いてZnナノ粒子の楕円化を広い線量域で調べたところ、IH効果よりも密度化効果が支配的な低線量域でも楕円化が起きていることを確認し[1]、IH説への疑義を呈した。この結果に対する批判は、我々の試料ではZnナノ粒子が60 keVのZnイオン注入で形成されており、この注入により密度化が飽和するまで起こってしまい、高速重イオン照射時にはIHによる変化しか観測されないためというものであった。そこで我々はZnイオン注入後に熱処理を行い、密度化から回復させた試料を用いて同様の照射・測定を行った。

キーワード：ナノ粒子の照射誘起楕円変形、ion beam shaping、熱焼鈍、イオンハンマリング、密度化

### 1. 目的

シリカガラス(SG)中に埋め込まれた金属ナノ粒子が高速重イオン(SHI)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、その変形メカニズムを解明する研究が続けられている。有力な説は媒質であるSGのイオンハンマリング(IH)効果であり、SHI照射によりビームと平行方向に縮み、垂直方向に伸びる。この場合、SG中にナノ粒子が含まれているとビームと垂直方向に応力がかかり、SHIの直撃により融解したナノ粒子が応力に従いビームと平行方向に伸びるといえるものである。

しかしながらSGは低線量ではSHI照射により等方的な体積減少(密度化)を引き起こし、IH効果を凌駕するため、少なくとも効率的なナノ粒子の楕円化は期待できない。我々はナノ粒子の楕円化に敏感な直線偏光二色性分光(OLD)法を用いて広い線量域で調べたところ、低線量でも楕円化は照射量にほぼ比例して減少し[1]、IH説と矛盾する。

この結果に対する批判は、我々の試料ではZnナノ粒子が60 keVのZnイオン注入で形成されており、この注入により密度化が飽和するまで起こってしまい、高速重イオン照射時にはIHによる変化しか観測されないというものであった。そこで我々はZnイオン注入後に熱処理を行い、密度化から回復させた試料を用いて同様の照射・測定を行った。

### 2. 方法

60 keVのZnイオン注入でSG中に直径10 nm程度のほぼ球形のZnナノ粒子を形成した後、真空中600°Cで熱焼鈍し、イオン注入による密度化を回復させた。この条件で密度化が回復することは我々の過去の研究[2]から明らかにされている。この試料に対して原子力機構のタンデム加速器を200 MeVのXeイオンを照射量 $1 \times 10^{11} \sim 5 \times 10^{13}$  ions/cm<sup>2</sup>の範囲で照射をし、楕円化の程度をOLD法により評価した。

### 3. 結果及び考察

測定データは多少のばらつきはあるものの、熱処理無しのデータとほぼ一致し、密度化は楕円化に影響を与えておらず、ハンマリングモデルへの疑義は深まった。

### 4. 引用(参照)文献等

[1] H. Amekura, et al., Phys. Rev. B **83**, 205401 (2011). [2] H. Amekura, et al., J. Appl. Phys. **94**, 2585(2003).