

課題番号 : F-19-HK-0003  
 利用形態 : 共同研究  
 利用課題名(日本語) : 固体レーザーの高効率化のための反射防止ナノ周期構造体の形成  
 Program Title (English) : Fabrication of anti-reflective nanostructures for efficient solid-state lasers  
 利用者名(日本語) : 上原日和  
 Username (English) : Hiyori Uehara  
 所属名(日本語) : 自然科学研究機構 核融合科学研究所  
 Affiliation (English) : National Institute for Fusion Science  
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、モスアイ構造、レーザー発振器、反射防止

### 1. 概要(Summary)

固体レーザーの小型化・高出力化・高ビーム品質化のため、レーザー媒質の反射防止技術や熱負荷軽減技術の開発は急務である。本研究では、固体レーザーの高効率化を可能とするナノ加工技術の開発を新たに行った。媒質表面に制御されたナノ周期構造(モスアイ構造)を形成することにより、共振器損失や寄生発振の一因となるフレネル反射を抑制し、レーザー性能の向上を目指す。

### 2. 実験(Experimental)

#### 【利用した主な装置】

- ・超高速スキャン電子線描画装置 ELS-F130HM
- ・プラズマ CVD 装置 PD-220ESN
- ・反応性イオンエッチング装置 RIE-10NRV
- ・ICP 高密度プラズマエッチング装置 RIE-101iHS
- ・ヘリコンスパッタリング装置 MPS-4000C1/HC1
- ・EB 蒸着装置 EB-580S

#### 【実験方法】

当面の目標として、著者らの独自開発したサファイア/Nd:YAG 接合体に反射防止機能を付与し、Nd:YAG レーザー(波長 1.06  $\mu\text{m}$ )の高性能化を図ることを目指す。本年度は基礎検証研究として、上記の微細加工装置を用いて、サファイア基板上へのモスアイ構造の形成を試みた。サファイアは硬度が高く、一般的に加工が困難とされており、本課題は極めて挑戦的な技術開発といえる。電子線描画条件、現像条件、エッチング条件等を制御し、構造体の直径、高さ、密度、テーパー形状などの最適化を行った。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

ナノ加工法の一つとして、ネガ型電子線レジストである HSQ をマスクとしてドライエッチングを施す手法を検討している。サファイア基板上に三角格子状(周期 400 nm)に作製した HSQ 構造体アレイの SEM 像を Fig. 1 に示す。電子線近接効果の影響で先の尖ったテーパー形状を有

する HSQ ナノ構造体の作製に成功した。その後のドライエッチング工程で、この形状がサファイア基板に転写されることが期待される。このようなテーパー形状によって基板に対して垂直方向の屈折率分布が生じ、反射防止特性を得ることができる。電子線描画半径の増加、並びに照射時間の増加に伴い、構造体のサイズが増大した。Fig. 1 (2-b)の条件時、波長 1.06  $\mu\text{m}$  の反射防止を得るための所望のモスアイ構造になっていることが、電磁界シミュレーション結果などから推測される。令和 2 年度研究では、ナノ構造体を実装したモスアイサファイア/Nd:YAG 複合型固体レーザー発振器の構築を試みる予定である。

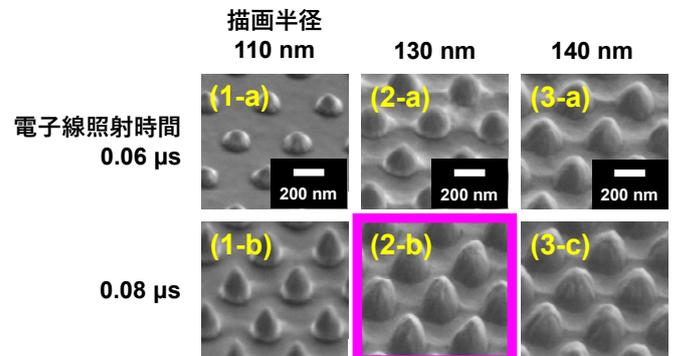


Fig. 1 SEM images of the nano-patterned etching mask on a sapphire substrate for “moth-eye” fabrication.

### 4. その他・特記事項(Others)

共同研究者:小田島聡(北海道大学)

### 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

[1] Hiyori Uehara et al., 8th Applied Optics and Photonics China, (July 2019), Beijing, China. (invited)

[2] 上原日和 他、レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会(2020 年 1 月)、仙台(招待講演)

### 6. 関連特許(Patent)

なし