

## 特集 ナノガラスプロジェクトの成果と展望

### ～大学組織における成果と展望～

(東北大・東大・名工大・京大・北陸先端大・三重大)

## I. 磁性半導体規則配列ナノ構造を用いた磁気光機能性ナノガラス

### Magneto-optical functionalities of magnetic semiconductor nanostructures integrated with glass

東北大学多元物質科学研究所 村山明宏

#### 1. はじめに

優れた光学材料であるガラスに対しての挑戦的な課題は能動型素子の実現である。電場や他の光、磁場などの外場により光の特性を可逆的に変化させ制御することができれば、光通信ネットワークに直結した光路変換スイッチや高効率光信号変調素子が実現できる。一つの可能性は、光と強い相互作用を持ち外場によりその相互作用が敏感に変化する物質のナノ構造の利用である。我々は、近赤外域のアイソレーター材料である II-VI 族希薄磁性半導体の様々な規則配列ナノ構造の作製と高純度ガラス薄膜との複合化を実現し、その巨大磁気光学効果や将来に向けての光による電子スピン制御について研究を進めている。

#### 2. 磁性半導体規則配列ナノ構造を用いたナノガラス

II-VI 族希薄磁性半導体においては、ファラデー回転やゼーマン効果が著しく増大する巨大磁気光学効果が発現する。このような特性を生かし単結晶を用いた光アイソレーターが実用化されている。我々は、電子ビームリソグラフィーにより直径 20~80 nm の  $Zn_{1-x-y}Cd_xMn_ySe$

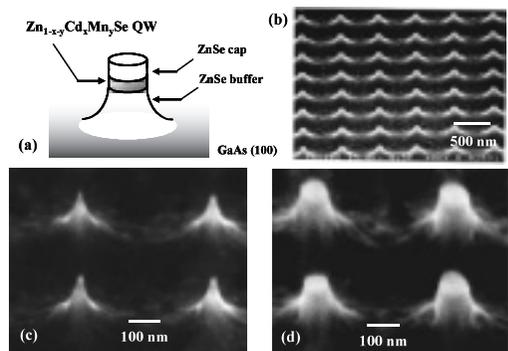


図1  $Zn_{1-x-y}Cd_xMn_ySe$  量子井戸 (QW) を電子ビームリソグラフィーによりドット形状に加工したナノ構造の模式図 (a) と、実際に作製した規則配列ナノ構造の例 (b~d)

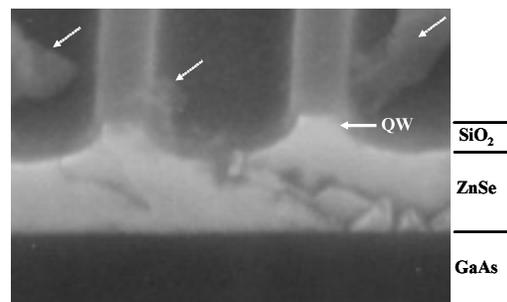


図2  $Zn_{1-x-y}Cd_xMn_ySe$  細線ナノガラス構造の断面 SEM 像。デブリ (矢印) は、SEM 試料作製時の破断により生じたもの。

量子ドットを作製した(図1)。リソグラフィー技術によりナノ構造のサイズや形状、さらに位置や配列を自在に設計でき、各種ガラス材料と複合させることにより、光通信などにおける微細光学素子を開発することが可能になる。さらに、外部磁場により光の量子情報である円偏光状態を制御できる新しい能動型光学素子も期待できる。ここでは、高アスペクト比の半導体ナノ構造に対して、様々な高純度ガラス材料や光学多層膜を積層出来る超高真空スパッターを利用する。図2に、 $Zn_{1-x-y}Cd_xMn_ySe$  細線表面に $SiO_2$ 膜を被覆した場合の断面SEM写真を示す。ここに見られるように100%の被覆率が得

られている。

### 3. 巨大磁気光学効果と光スピン操作

このようにして作製した磁性半導体ナノガラスでは、励起子PLエネルギーが磁場により数十meV変化する巨大ゼーマン効果が観測され、その特色ある巨大磁気光学効果の発現が確かめられた。さらに、様々な磁性半導体ナノ量子構造における巨大ゼーマン効果を利用することで、光により生成した電子のスピン偏極状態を制御することが可能になり、将来の量子光通信における光の円偏光状態と電子スピンの変換機能の研究に繋がっていく。

## II. 希土類イオン添加微粒子分散結晶化ガラス

### Optical Properties of Rare Earth Ions in Transparent Glass-Ceramics

東京大学 生産技術研究所 井上博之

#### 1. はじめに

様々なナノ結晶化ガラスが作製されている。本研究では、透明な結晶化ガラスのナノサイズの結晶粒内に光学活性なイオンを添加し、その光物性に調べた。1998年にDejneka<sup>1)</sup>は、 $LaF_3$ 結晶が析出するアルミノケイ酸塩結晶化ガラスを報告している。これまでに、 $Pr^{3+}$ 、 $Eu^{3+}$ 、 $Ho^{3+}$ 、 $Er^{3+}$ イオンを添加し、蛍光スペクトルをはじめとした光学的性質が報告されている。ここでは、 $Eu^{3+}$ イオンを添加した透明な結晶化ガラスを作製し、その光学特性に着目した。

#### 2. ガラスの状態と透明結晶化ガラス

組成  $60 SiO_2 \cdot (40-x-2y) Al_2O_3 \cdot xNa_2O \cdot yAl_2O_3 \cdot yLa_2O_3 \cdot 0.05 Eu_2F_6$  (mol%)  $x=7\sim 12$ ,  $y=4\sim 8$  のガラスにおいて、(1)分相したガラスが得られる組成域、(2)透明なガラスが作製でき、熱処理により、透明な結晶化ガラスが得られる

組成域、(3)ガラスが得られるが、透明な結晶化ガラスが得られない組成域、(4)流し出す時に結晶化する組成域の4つの領域に分類でき、Dejnekaの報告によるを満たす組成で透明結晶化が得られ、他の3つの状態もこの直線に平行な直線で分類できることがわかった。また、透明な結晶化ガラスを得ることができる組成域で2段階の熱処理を行うことにより、結晶粒径が7~30 nm程度の間で制御できた。

#### 3. $Eu^{3+}$ イオンの結晶場分裂

結晶中の $Eu^{3+}$ イオンからの $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ 遷移の蛍光のピーク波長は単結晶の $LaF_3$ 結晶中のものほとんど同じであり、析出した $LaF_3$ 中の結晶場は結晶化の初期段階から、 $LaF_3$ 単結晶中の結晶場と一致することがわかった。Fig.1は各熱処理の結晶中の $Eu^{3+}$ イオンの蛍光スペクトルである。熱処理温度と時間の増加に伴って、結晶粒径の増加し、周囲の酸化物ガラスか