

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19750166
 研究課題名（和文）球状微粒子 2 層結晶における特異的光回折を利用したデバイスの開発
 研究課題名（英文）Optical Grating prepared by means of a Self-Assembly Method
 研究代表者 松下 祥子 (MATSUSHITA SACHIKO)
 日本大学・文理学部・講師
 研究者番号：50342853

研究成果の概要：

自己集積法を用い、実用化されている回折格子と同程度の回折効率を持つ微粒子集積体を作製することができた。本集積体はポリスチレン微粒子で形成されており、膜厚は約 2 μm である。回折効率は S, P 偏光入射ともに 50% 以上を示した。特に光学的・自己集積的な最適化を施さずにこのような高い効率を得られたことから、各種パラメータの最適化により、より高効率なデバイス作製が可能と期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：物理化学、光学

科研費の分科・細目：

キーワード：自己集積、自己組織、粒子膜、微粒子アレイ、移流集積、界面、グレーティング、光デバイス

1. 研究開始当初の背景

球状微粒子が多層状に配列した自己集積体は、pseudo gap を持つフォトニック結晶として、またブラッグ回折を利用した光学デバイスとして多くの注目を集めている。一方、球状微粒子が単層で配列したのも、電子エミッター・メタマテリアル・培養基材のテンプレートとして応用されてきた。しかしながらこれまで、微粒子が数層に配列することによる特異的な効果というのは、ほとんど報告

例がない。

2. 研究の目的

こうした中、マイクロマニピュレーションにより作製した小規模な二層微小球クラスタにおいて、特異的に高効率な光回折が起きることが発見された。その報告によれば、球状微粒子が二つ並んだ形状は鏡的な役割を果たし、その回折効率は実用化されている回折格子に匹敵するというのである。

しかしながら、いかに回折格子に匹敵するといえど、微粒子を一つずつ配列させるマイクロマニピュレーションでは実用化には至らない。一方、申請者は自己集積を利用して微粒子を層状に積層する技術を有しており、大規模な層状微粒子結晶を短時間で作製することができる。本申請研究では種々の粒径での2層コロイド結晶を作製し、本特異的光回折の波長依存性を評価し、本現象を実用的なデバイスに展開できるかを検討した。

3. 研究の方法

実用的な回折格子の作製を念頭に置き、回折させる波長としてはHe-Neレーザー633 nmをターゲットとした。粒径が波長の1.6~3.2倍で顕著な共鳴的光回折が生じると予測されているので、粒径1.2 μm ($D/\lambda=1.9$)を選択した。粒としては、単分散性がよいポリスチレン微粒子(屈折率1.6)を使用した。

しかしながら通常、粒径1.1 μm をこえると自己集積の配列は難しくなる。基板を溶液に垂直に浸す垂直基板法やdip法では、重力に引かれ微粒子が沈降してしまう。基板を水平にセットし横毛管力により微粒子を配列させる移流集積法では、大サイズ微粒子が液薄膜内で動きにくく、単一ドメインのサイズが小さくなってしまふ。そこで本系では、基板を傾斜させながら引き上げる変形ディップコート法を試みた。引き上げ時に角度を付けることにより基板上的メニスカス曲率が緩和され、大サイズ微粒子に適切な形状となること、および垂直引き上げに比べ液膜が長時間基板上に形成し、微粒子が液膜内で移動できる時間が長いこと、などの利点があると推測されたからである。

本結晶膜に様々な入射角で平面波を照射し、単一ドメインの回折像を顕微回折法[2]にて観察した。ドメインサイズはいずれの層も30 $\cdot\text{m}^2$ 以上であった。個々の回折スポットの回折効率の入射角依存性をFig.1に示す。結晶膜にレーザーを照射し得られた回折像から回折効率を計算した。

4. 研究成果

各層の結果についてそれぞれ見ていく。まず、粒径1.2 μm の1層については0次光に若干のピークはあるものの、目立ったピークは見られなかった。3層については、1層同様に目立ったピークはなく、特異的な回折効率を得ることが出来なかった。一方、2層の結果を見てみると1層、3層に比べて明らかに特異的なピークが発生していることが分かる。本結果は、上述した鏡面共鳴が、自己集積による微粒子層でも確認できたと言えよう。

さらに回折効率については、-1次光、1次光についてはP偏光の方がやや高く、0次光

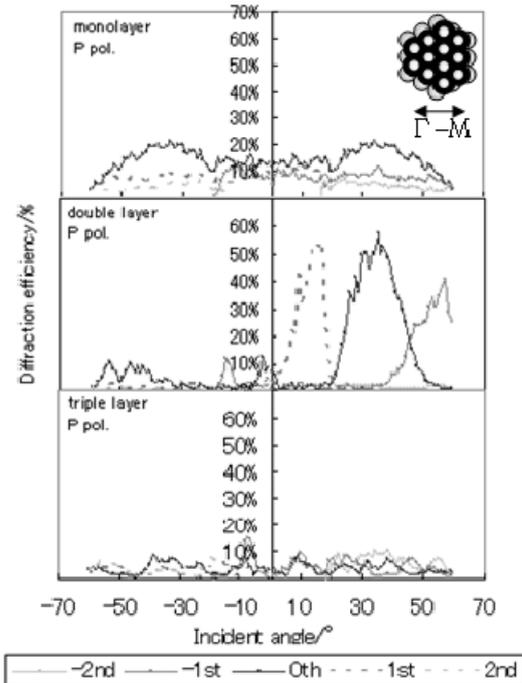


Fig.1 Diffraction efficiency of the self-assembled colloidal crystals of (a) a monolayer, (b) a double layer, and (c) a triple layer, illuminated by P polarization. The particle's diameter is 1.2 μm .

についてはS偏光の方がやや高かった。マイクロマニピュレーションにより作製された微小球クラスタにおいてもP偏光の方がより高い効率を示しており、本実験により再現性が取れたといえる。またP偏光とS偏光の形状を比較してみると、S偏光の方が複雑な形状を示した。この結果が光学系に起因するものなのか、偏光の違いに影響するのかはなお検討中である。また今回得られた回折効率は実用化されている回折格子と同程度の回折効率(50%以上)であった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① “Fabrication of polymeric particles composed of two-dimensionally self-assembled nanoparticles by use of a microporous film as a template,” Koichi Tamaki, Sachiko Matsushita, Masatsugu Shimomura, *Colloids and Surfaces A* **2008**, 313-314, 630-635. (査読あり)
- ② “Calculation of photonic energy bands of self-assembled type TiO_2 photonic crystals as a dye-sensitized solar battery,” Sachiko Matsushita,

Ryo Fujiwara, and Masatsugu Shimomura, *Colloids and Surfaces A* **2008**, 313-314, 617-620. (査読あり)

- ③ “One-step preparation of hierarchical structures using a dissipative process”, Matsushita, S.; N. Kurono, & M. Shimomura, *Journal of the Society of Japanese Women Scientists* **2007**, 8, 26-32. (査読あり)
- ④ “Rapid Fabrication of Smooth Hollow-Spheres Array”, Matsushita, S.; Fujikawa, S.; Onoue, S.; Kunitake, T.; Shimomura, M., *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2007**, 80, 1226-1228. (査読あり)
- ⑤ “Self-organized hierarchy structures composed of honeycomb-like polymer films and spider-web-like particle structures”, Matsushita, S.; N. Kurono, & M. Shimomura, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **2007**, 463, 93-99. (査読あり)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 三好早希、羽柴秀臣、松下祥子「微粒子自己集積体を利用したメタマテリアルの作製」日本化学会第 89 春季年会、日本大学、2009 年 3 月 27-30 日(月)
- ② Chie Nishiyama and Sachiko Matsushita, “Electrochemical Impedance Measurement of Dye-sensitized Photonic-Crystal Electrodes,” Korea Japan Joint Forum, Chitose, Japan (Oct. 23-25, 2008)
- ③ Kaori Yoshida and Sachiko Matsushita, “Comparison of the Spontaneous Fluctuations Generated at Nitrobenzene, Chlorobenzene/Water Interfaces,” Korea Japan Joint Forum, Chitose, Japan (Oct. 23-25, 2008)
- ④ Yohei Shibuya and Sachiko Matsushita, “Electric current generation by camphor boats and its application,” Korea Japan Joint Forum, Chitose, Japan (Oct. 23-25, 2008)
- ⑤ 高野恭平、河井妙保、松下祥子「自己集積による大サイズポリスチレン微粒子 1 層膜作製の試み」第 57 回高分子討論会(2008)、2008 年 9 月 24 日 ~26 日、大阪市立大学
- ⑥ Sachiko Matsushita, Gordon Research Conference, SUPRAMOLECULES & ASSEMBLIES, CHEMISTRY OF Functional Materials Through Bottom-Up

Self-Assembly, (May 6-11, 2007) I1 Ciocco, Lucca (Barga), Italy

- ⑦ Amandine Buffaz, Sachiko Matsushita, “Photonic energy bands of TiO₂ hollow spherical array,” 第 56 回高分子討論会、2007 年 9 月 19-21 日、名古屋工業大学
- ⑧ 高木 俊秀、宮崎 英樹、松下 祥子「2 層コロイド結晶膜の作製と共鳴的回折の検証」第 56 回高分子討論会、2007 年 9 月 19-21 日、名古屋工業大学

[図書] (計 1 件)

- ① 松下祥子「科学者たちの奇妙な日常」(日本経済新聞出版社、2008)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

- ① Sachiko Matsushita, Kaori Yoshida(米国出願のみ) (2008/081615) ACQUISITION OF INDUCTION CURRENT BY VARIATION IN SURFACE TENSION
- ② 特開 2008-182871「表面張力変動による誘導電量の取得」松下祥子

[その他]

○総説 2 件

- ① 松下祥子「コロイド微粒子の二次元集積化」粉体工学 2008, 45(5), 312-318.
- ② Induced Current Generated by Spontaneous Oil Droplet Movement」Sachiko Matsushita and Kaori Yoshida, 高分子 2008, 57(3), 128. (ホットトピックスとして選ばれました)

○依頼講演 3 件

- ① 「0 歳児育児と研究室運営と」松下祥子、日本化学会第 89 春季年会、日本大学、2009 年 3 月 27-30 日(月)
- ② 松下祥子「非平衡現象を利用した機能材料作製の試み」第 78 回セラミックスセミナー、2008 年 1 月 15 日、東京工業大学
- ③ 松下祥子、吉田芳、伊藤堯「非平衡過程を利用した新規エネルギー系の開発～真の自己組織化を目指して～」、時代を刷新する会 環境技術委員会、2007 年 11 月 13 日、衆議院第一議員会館

○マスコミ発表 5 件

- ① 松下祥子 2007 年 10 月 23 日 19:13 NU-press e-news「文理 せっけん水と

油で誘導電流 松下専任講師ら実験成功」

- ② 松下祥子2007年10月20日 日本大学新聞(2面)「せっけん水と油で誘導電流 松下専任講師ら実験成功」
- ③ 松下祥子2007年9月14日 フジサンケイ ビジネスアイ(一面)「せっけん水で脱温暖化」
- ④ 松下祥子2007年9月14日 22:00 iza β版「せっけん水が地球温暖化を防ぐ? 日大が発電システム」
- ⑤ 松下祥子2007年9月 イノベーション・ジャパン 2007 パネル出展

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松下 祥子 (MATSUSHITA SACHIKO)

日本大学・文理学部・講師

研究者番号: 50342853

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし