研究課題評価

1. 研究課題名：コヒーレンス場におけるデンドリマー組織体のマクロな光電子機能
2. 研究者氏名：横山士吉
3. 研究の狙い：

本研究では波長オーダーのマクロ空間領域にゲインの高い状態で分子組織体を構築し、さらに特異な場であるコヒーレンス性の高い電磁場内において分子間相互作用を誘発させることで、新たな光電子機能を発現させることを目的としている。分子の電子構造が大きく関与する物質の化学的・物理的性質は、分子集合体などの凝集系においては、その配向性、分子間距離などのミクロスコピックな構造に大きく依存し、分子構造の制御は重要である。ミクロスコピックな分子凝集とマクロスコピックに誘発される光電子特性の相関性は複雑であるが、電磁場内におかれたときの分子機能の特異性を選択的に見いだすことを本研究では主たる目的としている。レーザー光による励起が外場としての電磁場の発生であり、系内では個々の分子は自らの励起状態によって新たな電磁場を放出し、隣接分子間で発生するエネルギー伝搬がコヒーレントに起こったときに機能の増幅が発生する。この伝搬を高効率に起こさせるための材料系を巨大分子であるデンドリマーで達成する。

4. 研究結果：

研究当初、色素をデンドリマーに閉じ込めることで、高濃度の色素においても、励起した電子の散逸を抑え、高効率の発光が可能であることを見出した。次に、色素を閉じ込めたデンドリマーを含む溶液に光をあてると、その極表面において、レーザー発振することを見出した。これにより、従来大掛かりな装置であった色素レーザーの小型化を可能とした。（特願 2001-053781）さらに、色素を閉じ込めたデンドリマーの固溶体にガラス微粒子を均一に分散させることで、レーザー発振が可能であることを明らかにし、実用の用途を広げた。（特願 2002-134759）

本研究で対象としている光学空間は、サブマイクロメートルスケールでコントロールした周期性を誘発させるものである。このサイズオーダーで空間形成を起こさせるために2光子吸収リソグラフィー法を開発した。（特願 2002-134758）特にデンドリマーを描画母材として用いると高濃度にレーザー色素をドープできることを示し、ゲインを有する3次元構造を作製できることを示した。ここでは350nm ピッチの回折格子を作製し、分布帰還形(DFB)レーザー特性を示した。

5. 自己評価：

本研究のポテンシャルは、合成によって得られるデンドリマーの光エレクトロニクス分野への応用を示すことにある。“さきがけ研究”の結果、合成化学者の産物であったデンドリマーを応用物理分野へ先駆けて用いることができた。また、本研究では、ナノスケールの分子空間をマクロな空間まで容易にボトムアップできることを示し、空間調整が必須なレーザー輻射を呈することで応用展開を提示した。いずれも他に類のない研究結果であるとともに、デンドリマーの有用性を有機光学分野、および光学材料分野へアピールすることができた。今後さらにデンドリマーを汎用的な材料として利用できると考えている。

最終的に得られた研究結果は、必ずしも当初計画していた、あるいは期待していた内容とは異なるものである。期間中に達成できなかった研究項としてデンドリマー空間内の電子状態が関与するローカルフィールドの評価と非線形光学効果への影響については、結論を得ることができなかった。今後の展開として分子パーティクルとして組織構造を駆逐したときの光電子的なメリットを検討する必要がある。

6. 研究総括の見解：

デンドリマーの分子組織体がマクロなレーザー光誘起により新しい光電子特性を与えることを明らかにし、主に有機合成の対象であったデンドリマーを応用物理の世界に持ち込んだ先駆けとなった。まず、レーザー色素を内包するデンドリマーが高濃度状態で大きな発光ゲインを持ち、レーザー輻射を起こすことを発見した。この研究は、デンドリマー媒体中にガラス微粒子を均一に分散させることによる固体レーザー素子の作製へと展開した。さらに、この系は2 光子吸収リソグラフィーへの適用が可能であり、3 次元構造の造型に利用できることを示している。これらの成果は、当初の計画とは異なるものとなったが、ユニークな新分野を開いたと言え、高く評価できる。

7. 主な論文等：

1） S. Yokoyama, A. Otomo, T. Makahama, and S. Mashiko, "Spatial photon confinement and super-radiation drom dye cored dendrimer", Thin Solid Films, 393, 124 (2001).

2） Y. Okuno, S. Yokoyama, and S. Mashiko, "Interaction between monomeric units of donor-acceptor-fictionalized azobenzene dendrimer: effects on macroscopic configuration and first hyperpolarizability", J. Phys. Chem. B, 105, 2163 (2001).

3） S. Yokoyama, A. Otomo, and S. Mashiko, "Laser emission from high-gain media of dye-doped dendrimer", Appl. Phys. Lett., 7, 80 (2002).

4） S. Yokoyam, T. Nakahama, A. Otomo, S. Mashiko, "Superfluorescence action from rhodamine-cored dendrimer", Coll. Surf. A, 433, 198 (2002).

5） S. Yokoyama, A. Otomo, T. Nakahama, Y. Okuno, and S. Mashiko, "Dendrimer for optoelectronic applications" Schalley and Vogtle (ed.) in "Topics in Current Chemistry, Dendrimer V", Springer-Verlag, Heidelberg

6） S. Yokoyama and S. Mashiko, "Spatial light confinement and laser emission from a gain medium containing dendriemr" in Iwamoto, Kaneto, Mashiko (ed.) "Nanotechnology and Nano-interface Controlled Electronic Device", 41 (2002) Elsevier Science.

7） 横山士吉、"デンドリマーの新しい光"、化学と工業、52, 1465 (1999).

8） 横山士吉、"デンドリマー"、ナノマテリアルの最新技術、313(2001).

9） 横山士吉、大友明、益子信郎 "Spatial photon confinement and laser-like emission by dendrimer", M&BE、12, 57 (2001).

１０） 横山士吉、"光機能性デンドリマー"、光機能性有機・高分子材料の新局面、21 (2002).

特許

1.レーザー光源及びその製造方法、特願 2002-134759

2.色素を含む光硬化性樹脂、及びそれを利用した光デバイスの作製方法、特願 2002-134758

3.小型色素レーザー装置、特願 2001-053781