

Title	有機結晶コアファイバの作製とその非線形光学効果に関する研究
Author(s)	上宮, 崇文
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/38461
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	上 宮 崇 文
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 1 0 1 5 号
学位授与年月日	平成 5 年 12 月 15 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	有機結晶コアファイバの作製とその非線形光学効果に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 山本 錠彦 (副査) 教授 小林 哲郎 教授 奥山 雅則 教授 岡田 正 助教授 芳賀 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、有機結晶コアファイバの作製とその非線形光学効果に関する一連の研究結果をまとめたものである。

近年、光技術の進展とともに、非線形光学素子、特に、半導体レーザから青色コヒーレント光を発生させる第2高調波発生 (SHG) 素子や、光誘起屈折率変化を利用したレーザパルス圧縮素子のニーズが高まっている。これまでは、主に無機系素子が検討されて来たが、有機材料が高い非線形性を有していることが明らかになって以来、有機系素子、なかでも、有機結晶コアファイバの検討が盛んになってきた。しかしながら、結晶コアファイバは、未だシングルモード伝搬すら実現されておらず、有機材料本来の特性・特長を活かせるものができていない。これは、素子の作製技術が未熟なためであり、この技術を確認し、有機材料が本来持つ高性能な特性を引き出せば、無機系素子に比べて高い非線形光学特性 (SHG, パルス圧縮) を持つ有機系素子が実現でき、光技術への少なからぬ寄与となると考えられる。

本研究では、有機系素子で実用的な性能が得られることを実証することを目的としている。このため、研究内容は 4-(N, N-ジメチルアミノ)-3-アセタミドニトロベンゼン (DAN) をモデル材料に用いて、有機結晶コアファイバの作製技術を確認し、それを SHG 素子、レーザパルス圧縮素子に適用するとともに、実用素子の開発に必要な新規材料の開発を行うこととした。

本論文は、本文 7 章と参考文献、謝辞、付録より構成されており、以下に、各章の概要を示す。

第 1 章 序論

第 2 高調波発生 (SHG) 素子、ならびにレーザパルス圧縮素子の重要性を示すとともに、これら素子の研究動向を概観し、課題を抽出する。また、無機材料に対する有機材料の優位性と、有機系素子の現状と可能性について議論することにより、本論文の意義と目的を明らかにする。

第 2 章 4-(N, N-ジメチルアミノ)-3-アセタミドニトロベンゼン (DAN) を用いた有機結晶コアファイバの作製

4-(N, N-ジメチルアミノ)-3-アセタミドニトロベンゼン (DAN) をモデル材料に用い、有機結晶コアファイバの作製技術を検討した結果について述べる。まず、素子形態として、結晶コアファイバを選択し、その開発課題を明

確にする。次に、結晶コアファイバ設計の基礎データとなる DAN 結晶の屈折率の測定、シングルモード伝搬の実現に必要な高屈折率の鉛ガラスからなるキャピラリーの作製、キャピラリー中での DAN 結晶の成長について述べた後、その方位を決定し、DAN 結晶コアファイバが、本研究の目的を達成するためのモデル素子に適していることを明らかにする。

第3章 DAN 結晶コアファイバの第2高調波発生

第2章で作製が可能となった DAN 結晶コアファイバをチェレンコフ放射方式の SHG 素子に適用した結果について述べる。まず、キャピラリー（クラッド）の屈折率を適切に選択することにより、高い変換効率が達成できることを示す。次に、アクシコンレンズと呼ばれる円錐形レンズを用いることにより、リング状に放射される SH 波が回折限界まで集光できることを示す。これらにより、有機結晶コアファイバが光ディスク用光源等の SHG 素子に適用可能であることを明らかにする。

第4章 DAN 結晶コアファイバによるレーザーパルス圧縮

DAN 結晶コアファイバを CPM (Colliding Pulse Mode-Locking) レーザ光のパルス圧縮素子に適用した結果について述べる。まず、CPM レーザ光を DAN 結晶コアファイバに入射し、自己位相変調によって広がったレーザー光のスペクトル幅から DAN 結晶の3次の電気感受率 $\chi^{(3)}$ を評価し、その値が、石英の21,000倍の 9×10^{-11} esu であることを明らかにする。次に、CPM レーザ光のパルス圧縮について検討し、DAN 等の有機材料を利用した結晶コアファイバを素子として用いれば、パルス圧縮に必要なレーザー光のパワーが大幅に低減できることを示す。

第5章 新規材料の探索

実用素子の開発に必要な新規有機非線形光学材料の開発について述べる。DAN に比べて光吸収端が短波長側にある DMNP をコア材料に用いた結晶コアファイバを作製し、SH 光出力の高出力化、SH 光波長の短波長化、素子寿命を検討することにより、実用的 SHG 素子開発のための有機材料の特性を明らかにする。レーザーパルス圧縮用素子材料の必要特性についても検討を行い、新規材料の探索・開発を、分子レベルと結晶レベルに分けて行う。分子レベルでは、分子超分極率 β と吸収極大波長の2点に着目して分子構造を探索・開発し、結晶レベルでは、分子レベルで有望なことを見出した材料の結晶内での分子配向と非線形光学定数の2点に着目して検討する。

第6章 新規材料を用いた結晶コアファイバの作製

第5章で得られた有望新規材料を用いて結晶コアファイバを作製した結果について述べる。検討した大部分の材料は、キャピラリー内で適切な方位に成長しなかったものの、適切な方位に成長した一部の材料は、SHG 素子用では実用的な SH 波出力でも十分な素子寿命が期待できること、またレーザーパルス圧縮素子用では、小さい導波損失が得られたことから、実用素子用材料として有望であることを示す。また、適切な方位に成長しなかった材料を有効に利用するために検討したキャピラリー内での結晶方位の制御についても述べる。

第7章 結論

第2章から第6章までの研究成果を総括し、本研究で得られた結論と将来の展望について述べる。

論文審査の結果の要旨

近年の光エレクトロニクス技術の発展には非線形光学効果の応用が重要な役割を果たしている。この方面の応用において、これまで主として用いられてきた無機系の材料と比べて極めて高い非線形性を有するものが有機材料の中に次々と発見あるいは開発され、光エレクトロニクス材料としての将来が期待されている。しかし、分子結晶である有機結晶はその機械的強度が弱く大形結晶の育成および加工が困難であるため、デバイス応用へ大きく発展するには至っていないのが現状である。本論文の著者は、このような問題を解決する手段として、ガラスキャピラリー中に有機材料の単結晶を成長させた有機結晶コアファイバ構造に着目し、この種の材料の機械的強度の弱さを克服するとともに、光導波構造の特徴である光閉じ込め効果を利用した高効率な非線形光学デバイス実現を目指して研究を行った。

本論文では、まず、結晶コアファイバの基本要素となるガラスキャピラリとして、高屈折率ガラス中に直径数 μm の一様な微小円柱状空間を高精度で作製する方法を新たに開発している。次いで、有機材料として、4-(N,N-ジメチルアミノ)-3-アセタミドニトロベンゼン（略称 DAN）をモデル材料として、変形ブリッジマン法を用いて、先のガラスキャピラリ中に DAN 結晶を成長させ、これまで実現されていなかった単一モード伝搬が可能な有機結晶コアファイバを作製している。次に、DAN 結晶コアファイバの応用として、2種類のデバイスに関して詳細な検討を行っている。第1にチェレンコフ放射形の第2高調波発生実験を行い、基本光として波長 $1.06\mu\text{m}$ のレーザ光を用い、 10mW オーダの低入力で、 0.1mW オーダの高調波出力が得られることを示し、さらにこの出力をアクシコンレンズにより回折限界の直径 $1.8\mu\text{m}$ のスポットに収束させて、実用的なデバイスとして利用できることを示している。第2に DAN ファイバの光誘起屈折率変化を利用した超短光パルスの圧縮を行っている。その結果、衝突パルスモード同期（CPM）レーザの非増幅パルスの圧縮としては世界最短の約20フェムト秒の光パルスを生成することに成功している。最後に、DAN ファイバの成果を基に、より高性能なデバイス実現に向けて新しい有機非線形光学材料の開発に関して詳しく検討している。まず、デバイス構成に際して材料に要求される諸特性を明らかにし、分子レベル、結晶レベルの2段階に別けて、新規材料の探索評価を行い、その結果、第2高調波発生およびパルス圧縮への応用に有望な材料としてそれぞれ新たに4種類の結晶を見出している。

以上のように、本論文は有機結晶を用いた非線形光学デバイス実現のために有用な多くの知見をもたらすと共に、今後の有機非線形光学材料開発に向けての重要な指針を与えており、学位論文として価値あるものと認める。