

ブロードバンド用超高速光デバイスに関する研究開発 (041404004)

Research on Ultra-High Speed Light Control Device for Broad Band Network

研究代表者

小松高行 長岡技術科学大学
Takayuki Komatsu Nagaoka University of Technology

研究分担者

藤原 巧[†] 紅野安彦^{††}
Takumi Fujiwara[†] Yasuhiko Benino^{††}
[†]東北大学 ^{††}長岡技術科学大学
[†]Tohoku University ^{††}Nagaoka University of Technology

研究期間 平成 16 年度～平成 18 年度

本研究開発の概要

スイッチング等の信号処理に電気⇄光変換を要しないブロードバンド方式による高度光情報通信網の構築は、本格的な「光の時代」において、先進光技術の中核を為すものである。本研究開発では、この次世代光情報通信方式を実現するために必須となる、超高速光デバイスの基盤研究開発を行う。

本研究開発においては、すでに地球上に広く敷設されている現用のガラス光ファイバに対して、ガラスネットワークへの導入・接続整合性に関して、他の材料を凌駕するガラスをベース材料として用いる。独自に見出された単結晶レーザーパターンニング法などをキーテクノロジーとして、光波制御機能性（二次光非線形性）が必要な領域のみに、空間選択的な規則化構造制御（結晶化）をナノからマイクロスケールに互って施し、高い機能性と自在な光回路構成を特徴とする新規高機能光材料/デバイスの研究開発を行う。

Abstract

Construction of highly light-controlled tele-communication networks by broad band system which does not require electricity-light conversion in signal treatments such as switching is a key technology in real photonic era. Glass-related materials/devices have superior advantages in the connection to glass optical fiber networks compared with other kinds of materials/devices such as single crystals. This research is aiming to develop new glass-related optical function materials/devices using key technologies such as single-crystal patterning which have been developed by our group.

1. まえがき

本研究開発では、我々の開発した新規な光非線形性/強誘電性結晶化ガラスおよびガラス表面に自在に位置選択的に結晶化パターンニングを可能にするレーザー誘起結晶化法を適用・展開させ、超高速光デバイス創製への新たな道を拓く革新的な基盤研究開発を行うことである。具体的な研究成果目標は、次の2点に要約できる：(1)光ファイバ型及び薄膜型デバイスに対する革新的材料開発を含む基盤研究開発、(2)レーザー誘起結晶化によるガラス表面への光導波路形成に対する革新的材料開発を含む基盤研究開発である。

2. 研究内容及び成果

2.1 光ファイバ型および薄膜型デバイスに対する革新的材料開発を含む基盤研究開発

革新的な機能性を有する光デバイスとして、透明ナノ結晶化ガラスを用いた光非線形性ファイバの開発に挑んだ。ナノ結晶化を示す強誘電体含有テルライト系(30KNbO₃-70TeO₂: KNT)ガラスを用いて、ファイバ線引き条件の最適化と熱処理によるナノ結晶化を行い、通常のガラスファイバには付加されない機能性（二次光非線形性）を有する透明ナノ結晶化ファイバの開発に成功した。ナノ結晶化ガラスファイバの伝播損失は、カットバック法を利用した独自の測定系を構築し、光通信の中心波長(1550nm)に対して調べた。なお、結晶化ガラスファイバには低屈折率のポリマーをコーティングしてクラッドコアの二重構造ファイバとした。伝播損失は、元のガラス

ファイバでは、0.02dB/cm、ナノ結晶化ガラスファイバでは、0.15dB/cm の値が得られた。結晶化ガラスにおいては、当面の目標値として設定される LiNbO₃ 導波路の一般的な損失値である 0.1dB/cm にほぼ匹敵する値が得られた。従って、損失の観点からは、ナノ結晶化ガラスファイバは十分光導波路用として展開可能であると結論した。

フレズノイト型の強誘電性 Ba₂TiGe₂O₈ 結晶から成る透明な結晶化ガラスファイバ(30BaO-15TiO₂-55GeO₂組成)の創製にも挑戦した。図1に、770°C、3hの熱処理で得られた結晶化ガラスファイバの光学顕微鏡写真を示す。透明な結晶化ガラスファイバが得られており、しかもファイバからは非常に明瞭な第二高調波発生(SHG)が観察される。また、偏光マイクロラマン散乱スペクトルの結果から、Ba₂TiGe₂O₈ 結晶はc軸に配向しながら、ファ

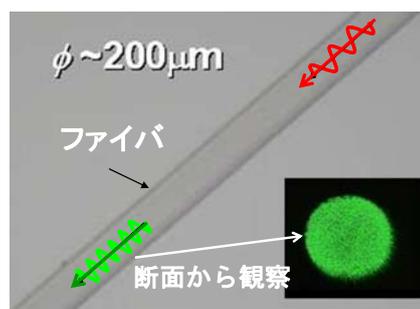


図1 BTG系結晶化ガラスファイバの光学顕微鏡写真とSHG顕微鏡写真

イバ表面から内部に向かって成長することを明らかにした。本研究により、初めて均一で高効率な波長変換機能を有する2次元非線形性高配向結晶化ガラスファイバの創製に成功し、光制御を可能にする新規なファイバ型デバイスへの展開に大きく前進したことになる。また、 $\text{Ba}_2\text{TiGe}_2\text{O}_8$ 結晶から成り、明瞭な SHG を示す薄膜試料の創製にも成功した。

2.2 レーザー誘起結晶化によるガラス表面への光導波路形成に対する革新的材料開発と基盤研究開発

二次の光非線形性や強誘電性を示す結晶ラインを光スイッチ等の光波制御デバイスに展開するには、直線状の結晶ラインのみだけでなく曲線状の結晶ラインをガラスに書き込む必要がある。 $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスにおいて Nd:YAG レーザー(波長: $\lambda=1064\text{nm}$)の照射方向を変化させることにより、様々な曲がり角度を有する結晶ラインを自在にガラスに書き込むことができることを実証した(我々の開発した希土類原子加熱法というレーザー誘起結晶化法の適用)。図2に、 $8\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-}37\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}55\text{B}_2\text{O}_3$ 組成のガラス表面に Nd:YAG レーザー照射(パワー $P=0.83\text{W}$ 、走査速度 $S=5\mu\text{m/s}$)で書き込んだまれた Y 字分岐型結晶ラインの光導波実験の結果を示す。この実験では、He-Ne レーザー($\lambda=632.8\text{nm}$)を結晶ラインの片面から導入し、一方の面からの光の出射を観察している。光導波が確認できると共に、分岐点や屈曲点で顕著な光の散乱は観測されないことから、Y字分岐型結晶ラインは光導波路として機能していることを実証した。この光導波路は、ガラス相と結晶相の屈折率差(Δn)が、基板屈折率に対しておよそ5%にも達し、本プロジェクトのターゲット目標の一つであるニオブ酸リチウム単結晶を用いたチタン拡散光導波路などに比べて、 Δn が2桁近く大きい。したがって、本手法により形成された光導波路は光波の閉じ込め効果が格段に大きく、従来の結晶デバイスにはない優れた特徴が期待される。



図2 レーザー照射でガラス表面に書き込まれた Y 字分岐結晶ラインの光導波実験

さらに、ガラス表面上に単結晶パターニングを可能にする新規なレーザー誘起結晶化法(遷移金属原子加熱法)を開発し、様々な光機能性結晶ラインの創製に成功した。この手法は、 Sm^{3+} などの希土類イオンを利用するレーザー誘起結晶化法と比較して、数 mol%の Ni^{2+} や Cu^{2+} などの遷移金属イオンの添加によってガラスの結晶化が誘起される。この手法によって、c-軸配向した LiNbO_3 結晶(LN)や $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{Nb}_2\text{O}_6$ 結晶(SBN)から成る結晶ラインのパターニングに成功した。LN や SBN 結晶は、非常に大きな電気光学を示す強誘電体であり、超高速光スイッチング素子開発において重要なターゲットである。現在、分岐構造を有するこれらの結晶ラインのパターニングを精力的に行っている。

光導波路への電極形成のために、レーザー照射と化学エッチングを組合せた新たなガラス表面微細加工技術を開発した。この技術は、弱いパワーを用いたレーザー照射でパターニングした屈折率変化ラインは、元のガラスや結晶化ラインと比べて優先的に化学エッチングされるという現象を利用したものである。この技術を利用すると、例えば、強誘電体結晶ラインの両サイドに屈折率変化ラインを書き込み、その後、酸処理をすることによって結晶ラインの周りに電極付けが可能な溝を形成することができる。レーザー照射と化学的エッチングの組合せはガラス表面への溝形成に対して極めて簡便な手法であり、単に電極形成への適用だけでなく、機能性を有するマイクロチャンネルへと応用展開が期待できる。

レーザー結晶パターニングを光導波路デバイスに展開するにあたり、光ファイバ等の他の光コンポーネントと接続することが必要である。このためには、結晶ライン端面の精密加工が必須となる。本研究開発では、「レーザー結晶パターニング」と全く同一のレーザーシステムで実施可能なレーザースクライビング技術を開発した。市販品の光学研磨面の表面形状特性に匹敵する極めて平滑な切断面を得ることに成功した。

3. むすび

本研究開発は電気⇄光変換を必要としない超高速フォトニック情報通信を実現する光デバイスの基盤研究開発、すなわち、革新的な材料開発と単結晶パターニング技術の確立に大きく前進し、我が国の光情報分野(革新的材料創製を含む)における基盤技術開発に多大な貢献をした。これらの成果を基に、プロトタイプ的光スイッチング素子の開発を目指す必要がある。

【誌上发表リスト】

- [1] T. Komatsu, R. Ihara, T. Honma, Y. Benino, R. Sato, H.G. Kim and T. Fujiwara, "Patterning of nonlinear optical crystals in glass by laser-induced crystallization", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 90 No. 3 pp.699-705 (2007年3月)
- [2] T. Honma, Y. Benino, T. Fujiwara, T. Komatsu "Transition metal atom heat processing for writing of crystal lines in glass", Applied Physics Letters, Vol. 88 pp.231105/1-231105/3 (2006年6月)
- [3] R. Ihara, T. Honma, Y. Benino, T. Fujiwara, R. Sato, T. Komatsu, "Writing of two-dimensional crystal curved lines in $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ glass by samarium atom heat processing", Solid State Communications Vol. 136 No. 5 pp.273-277 (2005年11月)

【申請特許リスト】

- [1]小松高行、本間 剛、紅野安彦、藤原 巧、"光部品及びその製造方法"、日本・PCT出願、平成18年2月9日
- [2]小松高行、本間 剛、紅野安彦、藤原 巧、"光部品及びその製造方法"、日本・PCT出願、平成18年3月7日
- [3]小松高行、本間 剛、紅野安彦、藤原 巧、"微細加工ガラス及びその加工法"、日本、平成18年7月12日

【受賞リスト】

- [1]井原梨恵、本間 剛、紅野安彦、藤原 巧、小松高行、平成18年度 春季応用物理学会学術講演会 講演奨励賞、"YAGレーザー照射によるガラスへの光導波路形成"、2006年8月31日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://chem.nagaokaut.ac.jp/amorph/>