

「アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する共同研究」

研究期間：H12年度～H13年度

1. 研究概要

研究の概要・目標

1. 何を目指しているのか

光通信の大容量化のための「波長多重化技術」の一層の高度化に必要な、信号光の分波・合波などの機能が、周囲の温度に対して変化しないアサーマル光集積デバイスの創製とそのための材料・プロセス技術の構築を目指す。

1年後の目標：1年目はフィルター機能付き光導波路で、温度依存性7pm/°Cのチップができ、従来品より40%改善された。2年目は、この値を1pm/°Cまで下げると共に、カプラー等の機能集積モジュール化に取り組む。

2. 何を研究しているのか

- (1)初年度はデバイス母材作製用プラズマCVD装置の開発を行い、現在は光感応性アサーマル組成を探索中（産業技術総合研究所）。
- (2)集光・干渉レーザービームによる薄膜への導波・分波・合波等の機能集積（サザンブトン大学）
- (3)デバイスのモジュール化とアサーマル性の評価（日本板硝子（株））

3. 何が新しいのか

- (1)レーザー描画でのデバイス形成（現状はフォトリソグラフィー）のための光感応性材料と描画手法
- (2)フィルターなどデバイス機能を温度無依存化するための母材組成検討の2点で新規な研究である。

諸外国等の現状

1. 現状

- (1)光通信分野では、1960年代の研究開始以来伝送容量が指数関数的に増大し、最近のインターネットの普及で、さらに飛躍的な増大が見込まれる。
- (2)光産業技術振興協会は、2015年までに毎秒10テラビット伝送網の世界的商用化を予測しているが、そのためには信号が温度変化などの外乱に影響されない極めて安定な伝送システムの実現が必須である。
- (3)受発光素子などの高価なエレクトロニクス部品では電気的制御が可能だが、導波路、フィルター、アイソレーター、イコライザーなどのパッシブな部品では、材料自体を抜本的に見直す必要がある。

2. わが国の水準

- (1)伝送容量増大の基盤技術として波長多重通信が注目されている。現在、アメリカが先行的に実用化を図っており、日欧がそれに追従している。
- (2)欧米では素材メーカーと大学（米の場合はNISTも参加）との連携で研究が進められているが、日本は個別研究に留まっている。

研究進展・成果がもたらす利点

1. 世界との水準の関係

欧米の光通信や光メモリなどの光技術関連産業界は中小、ベンチャー企業が数多く参画し、景気の後押しに貢献している。特にニーズに直結した新材料・新プロセスの研究開発では、日本が大きく出遅れているため、材料・プロセス面での独自性に重点をおいた本研究を実施する効果は大きい。

2. 波及効果

光通信は、2015年までにテラビット級国際統合網が構築される予定で、そこで採用される先進光デバイスの材料・プロセスの研究に、今、着手する意義は、知的所有権の取得や国際標準の提案さらには国内のベンチャー育成などに繋がる可能性がある。

さらに、本研究は光メモリーや光センサーなどの光学系の高度化にも貢献する。

2. 所要経費

平成13年度科学技術振興調整費課題「アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する共同研究」の実施体制及び所用経費

研究項目	担当機関等	研究担当者	平成12年度 所用経費	(千円) 平成13年度 所用経費
アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する研究				
①アサーマルデバイス母材に関する研究	経済産業省 産業技術環境局 独立行政法人産業技術総合研究所（委託）	西井準治 等	19,921	19,454
②アサーマルデバイスマジュール化技術に関する研究	経済産業省 産業技術環境局 独立行政法人産業技術総合研究所（委託） 日本板硝子（株）（再委託）	小山 正	3,960	
③レーザー描画による光デバイス創製に関する研究	イギリス サザンプトン大学	P. Kanzansky		
所用経費（合計）			23,881	19,454

3. 研究成果の概要<課題全体>

課題名（研究代表者）：アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する研究（西井準治）

【研究成果の概要】

光導波路特性の温度依存性は、材料の屈折率 n と物理的な長さ L の積である光路長 nL と相関があり、特に、導波路プラッギンググレーティングのプラッギング波長 λ の温度依存性は、グレーティング周期 Λ と熱膨張係数 α を用いて、

$$d\lambda/dT = 2\Lambda(N_{\text{eff}}\alpha + dN_{\text{eff}}/dT)$$

と書き表される。ここで、 N_{eff} は導波路の実効屈折率、 α は熱膨張係数である。光ファイバや幹線系通信用の光デバイスである PLC（平面型光回路）で用いられている SiO_2 系ガラス材料の場合、 dN_{eff}/dT の大きさは $N_{\text{eff}}\alpha$ と比較して 2 衡程度大きいため、 dN_{eff}/dT が支配的である。通常用いられている Ge-SiO_2 や SiO_2 の dn/dT の値は絶対値が $10^{-5}/^\circ\text{C}$ 程度の正の値であるが、 dn/dT の絶対値が同程度で符号が負である B_2O_3 をこれらの中に添加すれば、 dn/dT の値は小さくできると考えられる。さらに、光導波路全体での熱膨張は、導波路厚さが基板厚さより 2 衡小さいことから、基板の熱膨張が支配的であると推察される。したがって、ゼロ膨張やマイナス膨張の材料を基板として用いることで、導波路の熱膨張を制御することが可能であると考えられる。

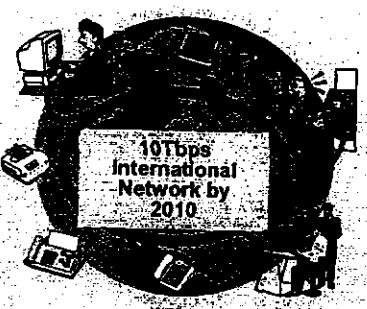
以上の考察を元に、 Si 、石英、ゼロあるいは負の膨張係数を持つ結晶化ガラスを基板として用い、これらの上にプラズマ CVD によって Ge-B-SiO_2 薄膜の作製を試みた結果、 B_2O_3 は 15 mol%まで光学的均質性を損なうことなく添加でき、いずれの基板上でも堆積可能であることがわかった。また、通常の光導波路組成である Ge-SiO_2 薄膜では、 KrF エキシマレーザを用いてグレーティングを光書き込むためには、事前に高圧（150 気圧程度）の水素雰囲気内に 1 週間程度保持する必要があるが、 B_2O_3 をドープすることで光感応性が向上し、この様な高圧水素処理なしでも薄膜内にグレーティングを書き込むことができた。

この様な薄膜を用いて、導波路プラッギンググレーティングを作製し、その温度特性を検討した。コアの大きさは $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ の矩形で、導波路長は約 15mm である。負膨張基板上でも導波路が形成できることがわかった。この導波路プラッギンググレーティングの透過スペクトルを測定したところ、プラッギングによる透過光パワーの減少が確認できた。プラッギング波長には偏光依存性があることがあり、その原因は成膜によって膜中に生じた歪みにより、複屈折性が誘起されたものと考えられる。このプラッギング波長の温度依存性を測定したところ、 Si 基板上の Ge-SiO_2 コア/ SiO_2 クラッドという構成で作製した試料の温度特性を示しており、プラッギング波長の温度依存性は $12\text{pm}/^\circ\text{C}$ であった。これに対して、マイナス膨張基板上に作製した Ge-B-SiO_2 コア/ B-SiO_2 クラッド導波路プラッギンググレーティングでは、温度特性に偏光依存性が見られたものの、最小で $4\text{pm}/^\circ\text{C}$ が得られ、通常の導波路と比較して約 1/3 に温度依存性を低減できたことがわかった。今後更に基板や導波路の組成や構造を最適化することにより、より温度依存性の小さいデバイスが実現可能であると期待できる。

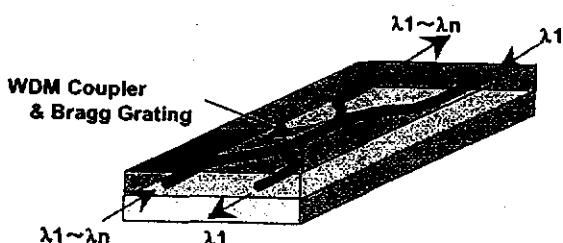
材料そのものの温度特性としてアサーマルな物の内部に、その温度特性等をほとんど変化させることなく光導波路が作製できれば、アサーマルな特性をもった光導波路の実現が可能であると考えられる。特に、導波路コアの作製を光照射だけで作製できれば、イオン等の不純物添加がないため温度特性は基板材料にのみ依存すると考えられる。この様な導波路の実現可能性を明らかにするために、熱膨張係数がゼロの結晶化ガラス内へのレーザ光照射による導波路の書き込みを検討した。サンプトン大学において近赤外波長のフェムト秒レーザ光を用いて、このガラス内部へレーザ光を集光して直接描画を行なうことにより、ゼロ膨張結晶化ガラス内への光導波路作製を行なった。作製した導波路に He-Ne レーザ光（波長 633nm）を励振すると導波光ストリームが確認でき、結晶化ガラス内に初めて導波路が作製できたことが確認できた。ゼロ膨張結晶化ガラスの光路長の温度依存性は石英と同レベルであり、今後さらに温度依存性の小さい材料の開発を行なうことにより、光導波路としても温度依存性の小さいものが実現可能であると考えられる。

アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する研究(課題全体)

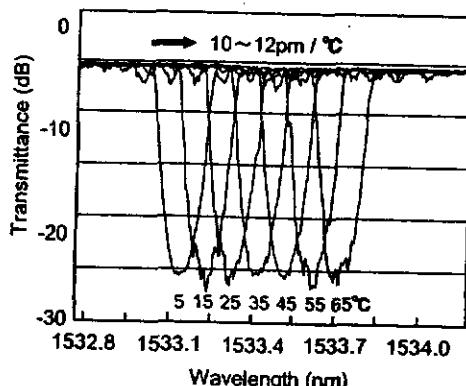
背景とニーズ



2010年メトロ系WDMの市場拡大

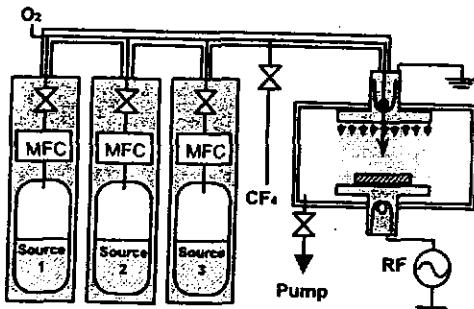


有望なデバイス: 導波路型フィルター
(特定波長の光信号の出し入れ)



現状では温度依存性が大きい

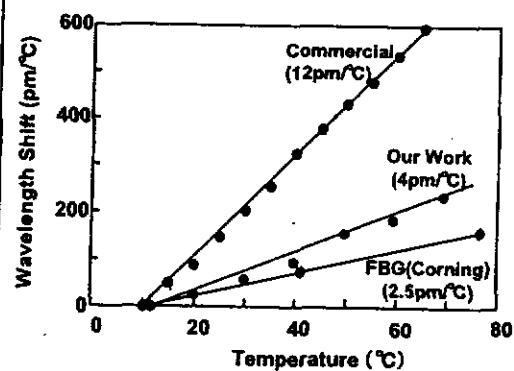
本研究の成果



新規組成の探索
(多成分CVD成膜装置)



導波路フィルターの作製



回折波長の温度依存性を従来の1/3に低減
(Corningのファイバー型アサーマルフィルターに近い)

4. 研究成果公表等の状況<課題全体>

課題名（研究代表者）：アサーマルマイクロフォトニクスデバイスに関する研究（西井準治）

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国内	0件	1 件	11 件	11 件
国外	6 (2) 件	0 件	2 件	8 (2) 件
合計	6 (2) 件	1 件	13 件	20 (2) 件

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

【特許出願等】 4 件 (国内 4 件、国外 0 件)

【受賞等】 0 件 (国内 0 件、国外 0 件)

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	# テーマ 1	# テーマ 2	# テーマ 3	合計
Opt. Lett. In press(2002, Aug.)	3.195				3.195
Appl. Phys. Lett. In press(2002, Sep.)	3.849				3.849
J. Mater. Res.	1.539				1.539
J. Non-Cryst. Solids(1)	1.363				1.363
J. Non-Cryst. Solids(2)	1.363				1.363
主要雑誌小計	5				11.309
発表論文合計	5				