

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560031

研究課題名（和文）UVレーザー照射によるアレイ導波路型回折格子におけるスラブ型導波路レンズの収差補正

研究課題名（英文）Research of slab waveguide lens compensation of arrayed-waveguide gratings under UV laser irradiation

研究代表者

高田 和正（TAKADA KAZUMASA）

群馬大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20359590

研究成果の概要：光周波数領域にてヒルベルト変換を利用してアレイ導波路型回折格子（AWG）の位相誤差を測定する光干渉計測法の測定精度を向上させるため、参照ビート信号が  $\pi/m$ （ $m$ ：正の整数）変化するごとに主ビート信号をデジタルサンプリングする、アップサンプリング法を考案し測定精度を  $10^{-3}$  radまで向上させた。10GHz 間隔 160 チャンネルを有する AWG の位相誤差を 3 時間の測定時間にて全 160 ポートにおける位相誤差を測定し、これらを 3 次元表示することにより、端ポートに近づくにつれて位相誤差が急激に増加する傾向が明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用光学・量子光工学

キーワード：フォトニックネットワーク、光制御、光位相制御、光誘起屈折率変化、光干渉、位相誤差、

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットに代表される高度情報化社会の進展は、経済活動や地域・時間・空間を越えた活動の広がりを実現し、新たな産業の振興、保健・福祉・医療、生活文化、環境、教育などの様々な分野で市民生

活の向上をもたらしており、その一層の活用が求められている。このような「高度情報通信ネットワーク社会」をさらに推進し発展させるためには、幹線系・アクセス系のみならず、インターネットの端から端までのすべての情報伝送処理を光領域で高品質・高効率に行う技術が不可欠である。このような電気変換信号の無い光通信の実現のためには、1本の

光ファイバに数千の信号を同時に送ることが可能な幹線系フォトニックネットワークが不可欠であり、合分波できる光の波長数（チャンネル数）が数千に及ぶ光合分波器の開発がその成否を分ける基幹技術とみなされている。

## 2. 研究の目的

すでに我々はチャンネル数を飛躍的に拡大できる階層構成法を考案しその有効性を実証し、1,000ch（ch:チャンネル）の光合分波器開発の見通しを得ているが、後段に使用するアレイ導波路型回折格子（AWG）の各チャンネルからのクロストークを極限まで低減することが実用上重要な課題であることが判明した。この問題の解決が超高密度波長分割多重技術（スーパーDWDM）開発の成否を分ける重要技術である。前段にはチャンネル間隔が 2.5THz の 10chAWG、後段には 25GHz 間隔AWGを 10 台使用した。入射ポートに 1,000 波の光が入射すると、入射光は前段によって 10 分割されて各出射ポートに分配される。各ポートの光は後段によって更に 25GHz 間隔で 100 分波されるので、最終的に 25GHz 間隔 1,000ch の光合分波器を実現できる。しかし、1,000ch 光合分波器における特定のチャンネルに着目すると、他の各チャンネルからのクロストークが僅かでも、累積されてクロストークは 30dB 増大するので莫大な量になってしまう。実験で構築した 1,000ch 光合分波器の各チャンネルの累積クロストークは-15dB と比較的大きかった。このように、大規模光合分波器の開発では、後段AWGの各チャンネルからのクロストークを極限まで低減することが実用上重要な課題であり、今回の研究目的である。

後段AWGのクロストークは、基板上での屈折率変化によって各アレイ導波路を伝播

した後に出射ポートに集光する光線の位相が設計値からずれてしまう位相誤差によって発生する。我々は低コヒーレンス光干渉を利用して位相誤差を $\pm 1^\circ$ の精度で測定できる技術を開発した。測定系は光ファイバ型マッハ・ツェンダー干渉計で構成され、AWGの入出射ポートに干渉計のポートを光結合させれば自動的に位相誤差を測定できる。今回の研究では、これをさらに進めて、出射側のスラブ導波路内の屈折率分布を測定精度 $10^{-6}$ で自動測定することを目指す。

## 3. 研究の方法

階層構成光合分波器の後段として使用する狭チャンネル間隔AWGの出射側に設置されているスラブ型導波路レンズの収差を補正し、全チャンネルにおけるサイドローブを-35dB程度まで低減する技術を開発することである。このため、位相誤差測定技術をさらに進展させてスラブ型導波路レンズ内の屈折率分布を $10^{-6}$ の精度で測定する技術を開発する。さらに、空間的コヒーレンスの良いYAGレーザの基本波から5倍波を発生させ、これをスラブ導波路各部に約 $\phi 500\mu\text{m}$ で集光することにより、スラブ型導波路レンズの屈折率分布を補正する技術を開発する。

シリコン基板の反りによるストレスや作製中の基板上の雰囲気の違いによって屈折率が変化し、これがスラブ型導波路レンズにおける収差の原因となる。このため、屈折率変化は基板上を緩やかに変化していると考えられる。位相誤差測定装置は、各光線の光路の位相誤差（すなわち光路長の設計値からのずれ）を高精度に測定できるので、出射ポートが変わるとそこに集光する光線の経路が変わり、出射ポートを変えながら各光線の位相誤差を測定することにより、屈折率分布の外観を把握できる。

レーザ照射によりサイドローブを十分低減するためには、補正すべき屈折率分布を精度良く求める必要があるため、スラブレンズをメッシュに分割し、各メッシュにおける屈折率変化を変数とする。各光線が通過するメッシュを抽出し、それらの変数の総和が位相誤差測定値に相当するので、これらの変数に対する一連の拘束条件と各出射ポートにおける透過スペクトルからは各変数の値を最小二乗法で導出する。

既設のQスイッチNd:YAGレーザからの出射光を第5高調波発生装置に通過させて波長213nmの5倍波(繰り返し20Hz、20mJ/パルス)を発生させ、レーザ光の照射時間を調整することにより補正に必要な屈折率を誘起する。

#### 4. 研究成果

##### (1) アレイ導波路型回折格子(AWG)の位相誤差測定法の高精度化

10GHz間隔160チャンネルAWGの位相誤差を時間領域での低コヒーレンス光干渉法にて測定した。本測定系ではポートごとに参照レーザ光の波長と白色干渉計のステージ位置をマニュアル微調する必要があったので、全160ポートの測定に40時間を要した。この間の測定条件の変化(光学系のアライメントずれや偏光状態の変化)によって位相誤差データに0.1rad以上の誤差が発生してしまった。位相誤差データをスラブレンズ上の屈折率分布導出プログラムに入力して解析したが、発生した誤差によってレンズ上の歪み分布を明確に導出することができなかった。そこで、光周波数領域にて短時間に位相誤差を測定できるシステムを開発した。

光周波数領域における従来法では、信号サンプリングのためのクロックを参照ビート信号から電氣的に発生させてきたので、クロ

ックのジッターにより位相誤差測定精度が十分ではなかった。今回、ヒルベルト変換を利用して参照ビート信号から導出した位相変化からクロックの位置を数値計算により高精度に検出するアルゴリズムを開発した。図1は、従来法および今回のヒルベルト変換法にて同一のAWGの位相誤差を測定し、測定値の変動量の標準偏差を測定した結果を示す。位相誤差測定変動量は、一回の測定の場合( $N=1$ )、従来法では $8 \times 10^{-3}$ radであったものが今回の方法によって $2 \times 10^{-3}$ radまで変動量を1/4に低減できた。さらに、同一測定を3回( $N=3$ )行いその平均値を求めることによって、変動量を $1 \times 10^{-3}$ radまで低減することも可能となった。本方式では参照レーザ光の波長を調整する必要がないため、マニュアル操作で測定時間は1分/ポートに短縮できた。

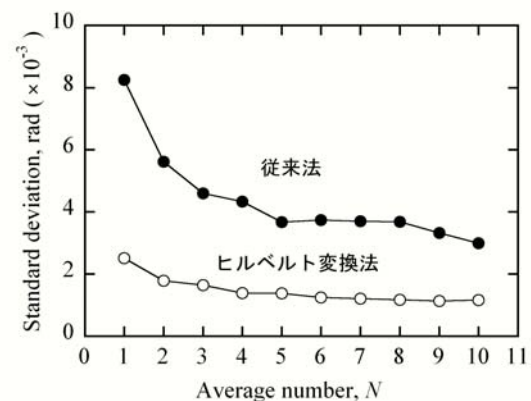


図1 従来法とヒルベルト変換法による変動量の比較。 $N$ は測定回数で、 $N$ ( $\geq 2$ )では平均値の標準偏差を示す。

##### (2) UVレーザ照射系の構築

5倍波発生装置と既設の設備をもとに、波長213.2nm、16.5mJ/パルスのUVレーザをAWGサンプルに集光させる照射系を構築した(図2)。石英系導波路部分に集光した

結果、1分の照射時間で $10^{-4}$ の屈折率変化を導波路に誘起できることを確認した。

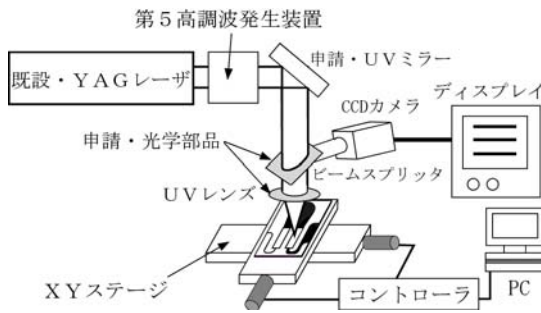


図2 構築したUVレーザー照射系

(3) 全チャンネルでの位相誤差分布測定

当該測定精度にて10GHz間隔160チャンネルを有するAWGの位相誤差を測定した。当初、位相誤差測定分布中に約0.1radの周期的な変動が観測された。これは、AWGの中心部に波長板が挿入されていたため、レーザー光では入射端にてTEモードのみを励起するための偏光調整が難しく、TMモードも励起されたためであると判明した。そこで、スペクトル幅の広いASE光を用いて1530~1600nmの波長域全体で最適な偏光調整を行い、この励起条件にて位相誤差を測定することにより、上記の変動を消去できた。3時間の測定にて160ポートにおける位相誤差を測定し、これらを図3のごとく3次元表示することにより、端ポートに近づくにつれて位相誤差が急激に増加する傾向が明らかになった。

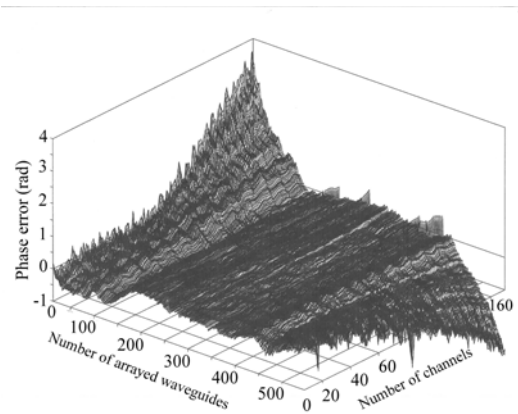


図3 チャンネルごとの位相誤差分布

(4) スラブ型導波路レンズの歪み導出プログラムの作成

光周波数領域にてヒルベルト変換を利用してアレイ導波路型回折格子(AWG)の位出射側のスラブレンズを0.2mm間隔のメッシュに細分化し、各メッシュ $i$ ( $i=1, 2, \dots$ )における屈折率変化を当該160ポートの位相誤差分布と透過スペクトルを用いて、最小二乗法により導出するプログラムを作成したが、特定のメッシュにおいて、顕著な屈折率変化を導出することはできなかった。

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3件)

- ① T. Hirose, K. Saito, and K. Takada (1番目), Mid-infrared spectroscopic detection of refractive index in CO<sub>2</sub> laser-written long-period fibre grating, Electron. Lett. vol. 44, no. 20, pp. 1187-1188, 2008, 査読有
- ② K. Takada, T. Yokota, and T. Hirose, (1番目), Increased sampling rate with Hilbert transformation for AWG phase error measurement in the frequency domain, Electron. Lett. vol.

44, no. 25, pp. 1484-1485, 2008. 査読有

- ③ T. Hirose, K. Saito, S. Kojima, B. Yao, K. Ohsono, S. Sato, K. Takada and A. J. Ikushima (1 番目), Fabrication of long-period fibre grating by CO<sub>2</sub> laser-annealing in fibre-drawing process, Electron. Lett. vol. 43, no. 8, pp. 443-445, 2007, 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① 横田俊樹・廣瀬知弘・佐藤伸一、高田和正、周波数領域におけるアレイ導波路回折格子の位相誤差測定法、第 68 回応用物理学会春季講演会 29p-ZB-4、2008 年 3 月 29 日、千葉
- ② 横田俊樹、廣瀬知弘、高田和正、周波数領域におけるアレイ導波路型回折格子の位相誤差測定法、第 69 回応用物理学会秋季講演会、2008 年 9 月 2 日、愛知

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高田 和正 (TAKADA KAZUMASA)  
群馬大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：20359590

### (2) 研究分担者

廣瀬 知弘 (HIROSE TOMOHIRO)  
群馬大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：10387855

### (3) 連携研究者

なし

( )

研究者番号：