



本記事は, 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 秀でた利用6大成果について紹介するものです.

# 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム平成 27 年度秀でた利用 6 大成果 音響光学フィルタの開発

長野計器株式会社 小林 広樹,藤田 圭一, ミマキ電子部品株式会社 堀田 一,株式会社オプトハブ 峯尾 尚之 恵北大学 香山 班辺 鈴木 珍属土 三津 健大郎

東北大学 森山 雅昭, 鈴木 裕輝夫, 戸津 健太郎



(左から) 長野計器株式会社 小林 広樹,藤田 圭一,ミマキ電子部品株式会社 堀田一,株式会社オプトハブ 峯尾 尚之



(左から) 東北大学 森山 雅昭, 鈴木 裕輝夫, 戸津 健太郎



近年,高速道路や鉄道の橋梁やトンネルの経年劣化に よる安全性信頼性低下が顕在化してきている.このよう な状況の中,インフラ設備の劣化具合等の健全度を監視 することは,保全作業などに対する負担を大幅に軽減す ることが可能となると同時に,災害時などでの迅速な健 全度監視ニーズにも対応が可能となる(図1).これらイ ンフラの健全度監視のため光ファイバセンサ(FBG セン サ:Fiber Bragg Grating)が検討されている.

FBG センサは一つの光ファイバに複数の測定箇所を製作でき、多点計測が可能になる他、電源の供給が必要ないので設置が容易である.また、本質的に外来ノイズの影響を受けないなどインフラ構造物の監視用センサとして優れている.

一方, このような FBG センサを用いた測定には各セン サに応じた波長の光を発生し,測定信号(光)を受け取 る光波長測定装置が必要であるが、現在の光波長測定装置は非常に高価であり、普及には大きな障害となっている.そのため、低コストでありながら、信頼性の高い光波長測定装置が求められている.音響光学素子フィルタ(AOTF:Acousto-Optic Tunable Filter)を用いた光波長測定装置は、ソリッドステートな構造を持つため信頼性が高く、低コストな測定装置である.



図1 インフラ監視システム

AOTF 製造には微細加工技術が必須であり,2013 年度 より文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 (東北大学 微細加工プラットフォーム)の豊富な微細加工 装置群を活用させていただき,AOTF 製造プロセスの開発 を行っている.本稿では開発したAOTF 製造プロセスと 開発品である光波長測定装置等について紹介する.



### 2.1 AOTF について

AOTF は通常 X カット LiNbO<sub>3</sub> を基板とし,結晶軸 y 方 向に光と表面弾性波 (SAW: Surface Acoustic Wave)を 伝搬させることによって AO 効果を生じさせる.通常, 光導波路は 7μm 程度に細長くパターニングされた Ti を 熱拡散させることによって形成される. SAW は Au をパ ターニングした周期 20μm 程度の櫛歯電極 (IDT: Inter Digital Transducer) によって励振される.

このデバイスは AO 効果による波長選択的な TE / TM モードの偏波回転を利用しており,モード変換器の 前後に偏光ビームスプリッタ(PBS: Polarization Beam Splitter)を配置することによって波長フィルタとして機 能する.[1] モード変換される波長 λ, すなわち透過波長 λ は櫛歯 電極に印加する RF 周波数によって決定される.その関係 は式(1)で表す位相整合条件によって導き出される.また, 透過波長の FWHM であるが,これは相互作用領域の長さ と相関があり,式(2)で表される.[2]

$$\begin{aligned} \frac{2\pi}{\lambda} |N_a - N_b| &= \frac{2\pi}{\Lambda} = \frac{2\pi f}{\nu} \quad \vec{x} \quad (1) \\ 2\Delta\lambda &\cong \frac{0.80\lambda^2}{\{L|N_a - N_b|\}} = 0.80 \frac{\Lambda\lambda}{L} = 0.80 \frac{\nu\lambda}{fL} \quad \vec{x} \quad (2) \\ \lambda &: \mathcal{X} : \mathcal{X} \\ N &: EH \\ N &: EH \\ SAW & \& E \\ v &: SAW & \& E \end{aligned}$$

ここで、 $N_a$ ,  $N_b$  はそれぞれ TE / TM モードの屈折率 で、この場合は約 2.14 と 2.22 であり、SAW 速度  $\Lambda$  は約 3600m/s である.通信波長帯である 1550nm 付近の波長  $\lambda$ を選択する場合、シミュレーションの結果、印加すべき RF 周波数は 170MHz 付近となる(図 2).目標 FWHM を 1nm 以下とした場合、相互作用長Lは 30mm 以上と導き 出される(図 3).



図 2 印加 RF 周波数 f と透過波長 λ のシミュレーション結果



図3 相互作用長Lと透過波長のFWHMのシミュレーション結果

### 2.2 AOTF 製造プロセス

AOTF 製造プロセスは表面弾性波のガイドを形成する SAW ガイドプロセス,光導波路プロセス,櫛歯電極プロ セス等の微細加工プロセスから成る(図4). これらの微 細加工プロセスは東北大学微細加工プラットフォームの 豊富な装置群の活用や,装置改良等の柔軟な対応により 行われた.また,各プロセスの条件出しについても豊富 な知見やアドバイスを頂き,行われた.

最初に SAW ガイドパターニングをフォトリソ工程に より形成し, Ti 蒸着後, リフトオフにより SAW ガイド を形成する. 熱拡散には Ar と O<sub>2</sub> ガスを用いる. これら のガスを温水中に通し, 水蒸気を含ませ炉内に導き, 熱 拡散を行った. 同様の手順で光導波路プロセスを行い, LiNbO<sub>3</sub> 基板上に光導波路を形成した.

その後, 櫛歯電極パターニングをフォトリソ工程により形成し, Au 蒸着後リフトオフを行い櫛歯電極を形成した. [3][4]

製作した AOTF (図 5) に RF 信号を印加した結果,特 定の光波長を選択的に出力できることを確認した (図 6).



## 3.1 光学モジュール,波長掃引光源モジュールの 開発

光学モジュールは,製造した AOTF, 偏光子やミラー等の光学部品を一体化したものである(図7).発熱により アライメントが変化し,光学的な損失の変動が発生する ため,筐体の材質に AOTF (16.7 × 10<sup>-6</sup>/℃)と線膨張 係数が近い SUS304 (17.3 × 10<sup>-6</sup>/℃)を用いることに より,アライメントの変化を少なくしている.また,光 学部品の固定を接着剤から溶接に変更したことによって, 振動や熱によるアライメントのずれが生じにくい構造と なっている.

波長掃引光源モジュールは、光学モジュール、ASE 光源、 電気制御回路で構成されている(図8).ノイズの発生源 となる RF 信号発生器、RF ゲイン調整器、RF アンプをシー ルドケース内に収め、波長掃引光源モジュールケース内 の信号増幅部への影響を少ない構造としている.高周波





図7 光学モジュール外観



図8 波長掃引光源モジュール内部

表1 波長掃引光源モジュール開発仕様と評価試験結果

		評価結果結果		
	開発仕様	-20°C	20°C	60°C
波長掃引範囲	1530~1560nm	1528.98~1561.34nm		
波長掃引時間	500±10us	499us		

発生部は,発生信号周波数を1kHz以下の分解能で設定可 能で自動掃引が可能な DDS(Direct Digital Synthesizer), ATT(Attenuator),周波数増幅を行う RF AMP で構成さ れている.電源は,一般産業用途 24V やバッテリ駆動を 考慮して 9 ~ 36VDC の範囲で使用可能な設定とした.

波長掃引光源モジュールの波長掃引範囲, 掃引スペクトルの測定を行った評価試験結果, 開発仕様を満たしていることを確認した(表1).

### 3.2 光波長測定装置の開発

光波長測定装置は FBG センサの出力を測定し,変位・ 歪み・圧力・加速度などの物理量に変換,上位システム と接続するハブとしての役割を持つ(図9).インフラ維 持管理分野や工業分野での測定に必要な開発仕様とした (表2).また,小型・低価格によるシステム導入コストの 低減,物理量変換機能や設定支援機能による現場設置を 簡素化,多彩なインターフェースによりシステム構築が 容易である.



本開発では電気信号により特定の光波長を選択的に出 力することが可能な AOTF 製造プロセスの開発を行った. これにより, AOTF の内製化が可能となった.製造プロセ スはフォトリソ,現像露光,蒸着,リフトオフ,熱拡散と 言った工程から成り立ち,本製造プロセスは東北大学マイ クロシステム融合研究開発センター試作コインランドリ の微細加工設備や知見・アドバイスにより開発を行った.



図9 光波長測定装置の役割

表 2	光波長測定装置開発仕様

開発仕様
1000Hz
<15pm
1530~1560nm
H100-W240-D240mm
内蔵
SD カード, 外部 PC
WiFi, LAN, SD カード
自動閾値設定
自動ゲイン設定
−10 <b>~</b> 50°C

また,製造した AOTF を用いた,高信頼性かつ低コス トな光波長測定装置の開発を行った.2015年には光波長 測定装置デモ機を展示会に出展し,ユーザーへの PR と反 応の調査を行った.PR 活動の結果,インフラ用途では, 当初より想定していたニーズでの引き合いが実際に存在 し、ユーザーの反応も良好であった.工業用途では、光 波長測定装置による光ファイバ測定の強みを活かして行 くことが重要であることが明らかとなった.



本研究開発は文部科学省ナノテクノロジープラット フォーム事業(東北大学 微細加工プラットフォーム),戦 略的基盤技術高度化支援事業(関東経済産業局)の支援 を受けて実施されました.この場をお借りしまして厚く 御礼申し上げます.



- [1] AO 素子の最近の技術進展 電気情報通信学会論文誌
  C VOL.J86-C No.12 pp1236-1243 2003 年 12 月
- [2] IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMINICATIONS. VOL.8.NO.6.AUGUST
   0990Integrated-OpticAcoustically-Tunable Filters for WDM Networks - DAVID A.SMITH,JANE
   E.BARAN,JOHN J.JOHNSON,AND KWOK-WAI
   CHEUNG,MEMBER,IEEE
- [3] レーザービーム直接描画法による LiNbO<sub>3</sub> 光集積機能 デバイスに関する研究 - 1998 年 3 月 原野 正幸
- [4] 光集積回路 西原浩, 春名正光, 栖原敏明

(長野計器株式会社 小林 広樹)

