

2016年  
アニュアルレポート

九州大学大学院  
総合理工学研究院

浜本研究室

## 2016年ハイライト

2016年は3年に一度の国内開催となる OECC2016 が新潟で開催されました。この国際会議開催に向け、多くの皆様のご協力を頂きました。会議 TPC 委員長として、この場をお借りして改めて御礼申し上げます。参加者は 580 名を超え、国内外から多数のお客様を迎えることができました。

我々の研究室からも、OECC2016 には積極的に論文投稿を行い、合計 4 件の発表（うち、口頭発表 3 件）を致しました。なかでも世界初の光の「モード」を選択的に発振できるモード選択光源は国内外の注目を集め、IEEE Young Scientist Award の受賞に至りました。

更にプロセス環境として、2015 年に導入した電子ビーム露光装置が立ち上がり、また自動現像装置もこれに合わせ導入・立ち上げが終了し、露光・現像工程の技術レベルが飛躍的に向上しました。また 2016 年には新たに 1 名の博士が誕生しました。これまでに合計 12 名の博士が当研究室から誕生し、今後の世の中の発展に大いに貢献して頂けるものと思います。

2016 年は以下の四つのテーマを主に進めました。詳細については、次ページ以降をご参照ください。

1. 光センシングデバイス
2. アクティブ MMI レーザー
3. 光モードスイッチ
4. Ge 導波路

## High-light 2016

On 2015, we have contributed to an international conference “OECC 2016” at Niigata international convention center. I appreciate as a TPC co-chair for all of the contributions to the conference. The total attendee counted more than 580, and I was so glad to welcome so many attendees from all over the countries. From our laboratory, accepted 4 papers including 3 oral and 1 poster were presented at the conference. Among them, the first mode selective light source got interest widely, and fortunately the paper won IEEE JP-chap young scientist award”. We were so honor for it.

Besides, an EB lithography machine and auto developer are now available. We expect that these machines will contribute to much higher and advanced results in the future. And newly 1 doctor came out from our laboratory on this year (Totally 12 doctors so far.). We expect they will contribute to the development of this world in the near future.

On 2016, we run the following 5 topics. Please see the following pages in detail.

1. Optical sensing by using photonic integrated circuit
2. Mode selective light source by using active-MMI laser diode
3. Optical mode switch
4. Ge waveguide process technology

# シリカハイメサ導波路を用いた気体濃度計測

李雯穎 韓瑜 姜海松 浜本貴一

高齢社会において小型の健康診断システムへの期待が増加している。人間の呼気には様々な疾患に関する情報を含み、患部を切開せずにリアルタイムでの呼気診断が可能であるため、日常的な健康診断のための小型呼気センサーが求められている。ハイメサ導波路は、コアを伝搬する光が気体と接触し、測定できる構造であるため、気体計測に使われており、小型呼気センシングシステムを実現することが可能である<sup>[1-2]</sup>。私たちは 4.5cm のシリカハイメサ導波路を用いた CO<sub>2</sub> 濃度測定の実現に成功した<sup>[3]</sup>。

図 1 は濃度を 40%~80% に変化させた CO<sub>2</sub> を測定した結果である。この図より、パルスの光強度は CO<sub>2</sub> 濃度が増加するほど速く減少する。つまり、シリカハイメサ導波路を用いた CO<sub>2</sub> 濃度の検知を実際に行えることを示している。CO<sub>2</sub> 濃度は、CO<sub>2</sub> がある場合とない場合のリングダウン時間<sup>[3]</sup>の差を用いることで評価される。CO<sub>2</sub> の濃度のリングダウン時間および評価結果を表 1 に示す。全ての場合において 2% 以内の精度で測定された。

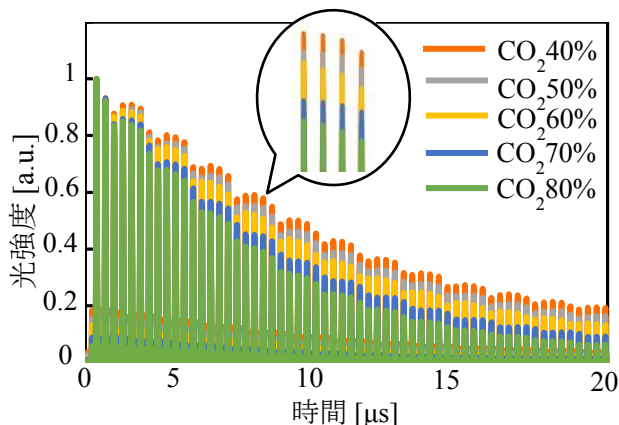


図 1 CO<sub>2</sub> (40-80%) の測定結果

表 1 シリカハイメサ導波路を用いた CO<sub>2</sub> 測定結果とリングダウン時間

CO <sub>2</sub> 濃度[%]	測定結果[%]	リングダウン時間 [μs]	
		CO <sub>2</sub> なし	CO <sub>2</sub> あり
70	70	11.38	9.47
60	58	10.05	8.93
50	51	16.46	14.28
40	39	5.95	5.75

ppm オーダーでの気体を計測するため、高精度、低損失、高气相分率のセンシング導波路が必要である。我々が使っているシリカハイメサ導波路は 0.02dB/cm の低損失が実現されているが、気相分布率は多くとも 3% 以下である。気相分布率を増やすため、我々は新たな導波路をデザインした。図 2 は従来のシリカハイメサ導波路と新たなデザインである。この SOI ハイメサ導波路は 50-100nm の薄いコア層を持って、<0.05dB/cm の散乱損失と、>20% の気相分布率を得られる<sup>[4]</sup>。

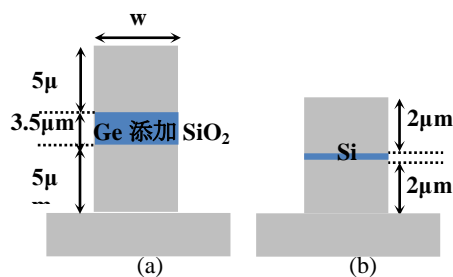


図 2 (a) シリカハイメサ導波路。  
(b) SOI ハイメサ導波路。

## 参考文献

- [1] A. Wilk et al., Vol. 402, Issue 1, pp. 397-404, 2012
- [2] S. Yano et al., Con. Proc. IPNRA, IWA7, 2007.
- [3] H. Hokazono et al., IEICE Electronics Express, Vol. 12, No. 15, pp. 1-8, 201.
- [4] C.J. Briker et al, So/-gel science: the physics and chemistry of so/-gel processing, Academic Press, 1990.

# アクティブ MMI レーザーによるモード選択光源に関する研究

洪 秉宙 北野 拓也 森 智隆 姜 海松 浜本 貴一

光ファイバ通信技術において、モード多重伝送はファイバー本当たりの通信容量を拡大するための手法として注目されている [1-3]。中でも光出力を異なるモードで切り替えることができるモード選択光源は、低コストかつ小型であることから、FTTH (Fiber to the Home) やデータセンター等の短距離伝送での使用が期待されている [4]。

図 1 に素子構造を示す [5]。また、この構造での基本モードと 1 次モードの伝搬の様子を、ビーム伝搬法 (BPM) シミュレーションにより計算した。図 2 にその結果を示す。図から分かるように基本モードと 1 次モードは、それぞれ異なる経路を伝搬する。2 つのモードは、図 1 の領域 C に示される伝搬経路を共有している。また、モード選択領域における直線導波路では、基本モードは領域 B、1 次モードは領域 A のみを伝搬可能である。そこで、各領域に設けられた電極に電流を注入し、各モードのゲインを調整することで出力モードを選択できる。

表 1 に各モードを発振させるための電流値を示した。全領域に電流を注入した時は、基本モードと 1 次モードの両方が確認された。領域 A に電流を注入しない時、基本モードの発振が確認された。同様に領域 B に電流を注入しない時、1 次モードが発振した。この時、領域 C は両モードの励起のために電流を注入する。図 3 に観測された近視野像 (NFP: Near Field Pattern) の結果を示す。表 1 において Plan 1~3 の電流注入による出力が、図 3 の (a)~(c) にそれぞれ対応している。図 3 のとおり、基本モードと 1 次モードの選択発振が観測された。

## 参考文献

- [1] S. G. L. Saval, et al., MOC, D3, 2015.
- [2] F. Ferreira, et al., OFC, JW2A.37, 2012.
- [3] N. K. Fontaine, et al., ECOC, Th.2.D.6, 2012.
- [4] B. Hong, et al., OECC/PS, TuD3, 2016.
- [5] J. V. Roey, et al., JOSA, vol. 71, pp. 803-810, 1981.

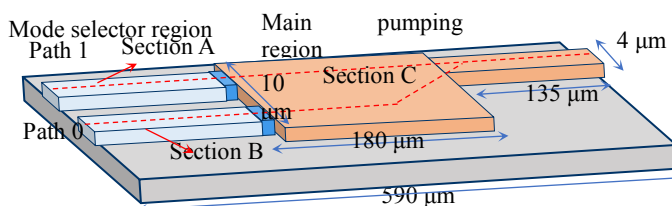


図 1 MMI レーザーの素子構造

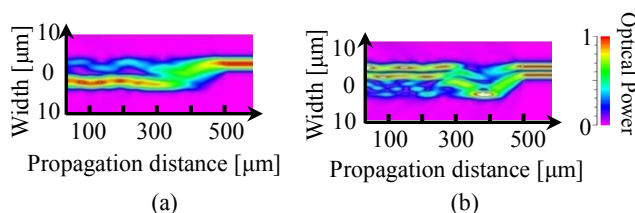


図 2 基本モード(a)と 1 次モード(b)の伝搬経路

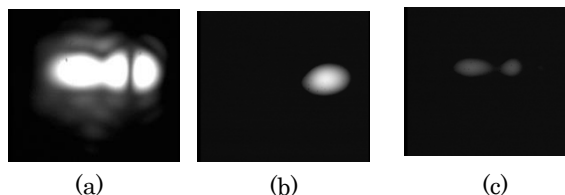


図 3 両モード(a)、基本モード(b)と 1 次モード(c)の NFP

表 1 各電極への電流注入値

Plan	Current C	Current B	Current A	NFP
1	Total 100 mA			(a)
2	43 mA	43 mA	0	(b)
3	100 mA	0	26 mA	(c)

# 光モードスイッチ

リヤンイマンシャ 小江 祥太 森田 優斗 姜 海松 浜本 貴一

近年、ネットワークデータトラフィック量の増加に伴い、従来の電気スイッチにおける消費電力量が問題となっている。そこで、データセンターにおけるスイッチング技術に注目が集まっている。中でも光-電気(OEO)信号変換を排除した光スイッチによる光ルーターの研究が盛んである[1]。我々は光モードが原則的にそれぞれ独立であることに着目し、光モードスイッチの開発を行っている[2-3]。図 2(b)に示すように、各光モードは同じ導波路を伝搬するため、入力と出力のポートはそれぞれ一つである。

我々は図 1 の(a)に示すような MMI モードフィルターを接続した光モードスイッチを作製し、0 次と 1 次モードの光出力を測定しクロストークを評価した。また、図 1 (c)に光モードスイッチの MMI モードフィルターを示すが、これは 0 次と 1 次モードを分別するためだけに用いた。

図 2(a)は、ピークトゥピーク値が 2V、幅 1500ns の矩形信号を光モードスイッチに挿入した結果である。MMI フィルターを通した後で、0 次モードの出力が矩形信号に追従していることが分かる。このとき入力信号のレベルは約 60mA の電流差で高低が切り替わり、高レベルでは 1 次モード、低レベルでは 0 次モードが出力される。(但し、図 2(a)ではデータバーが表示されているため反転している。) 図 2(b)は 1 次から 0 次の切替時間を示しており、その結果は 40ns であった。また、0 次から 1 次の切替時間を図 2(c)に示すが、こちらは 60ns となった。今後、光スイッチの pin トレンチ構造において電流パスの抵抗を減らすことによりさらに切替時間を短縮する。

## 参考文献

- [1] D. J. Blumenthal et al., IEEE Opt. Comm. (2003)
- [2] R. Imansyah et al., IBP2014, 82. (2015).
- [3] R. Imansyah et al., MOC2015, 50. (2014).

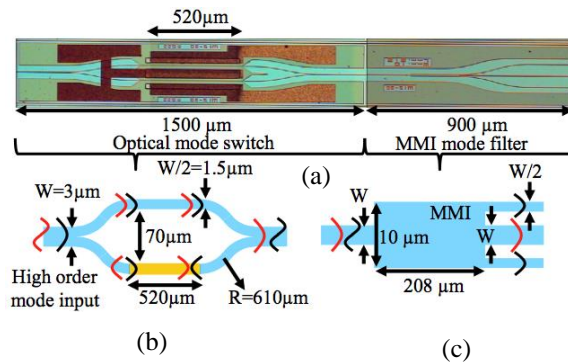


Fig. 1. Device configuration. (a) Top view of implemented device, (b) configuration detail of optical mode switch.

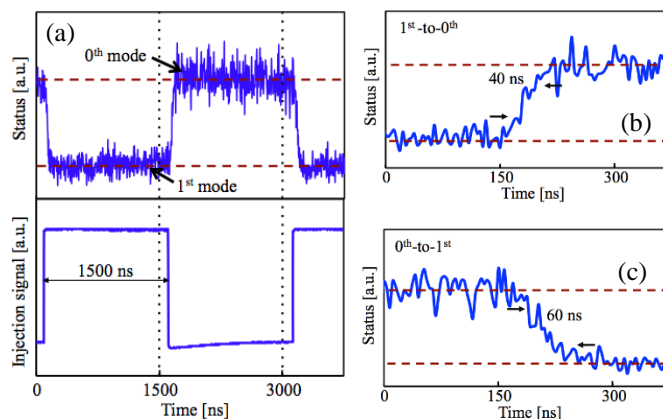


Fig. 2. Dynamic mode-switching result. (a) Injection signal and device status, (b) rise time, and (c) fall time.

# Ge 光導波路製作のための CHF<sub>3</sub> ガスを用いた ICP による ドライエッチング

アマド シャハリン イドリス サンパッド ゴッシュ 姜 海松 浜本 貴一

半導体プロセスにおいて、ゲルマニウム (Ge) はシリコン (Si) と互換性のある材料で知られ、レーザダイオードや光導波路に代表されるアクティブ及びパッシブデバイスへの実装が期待されている[1-2]。Si 導波路の加工ではエッチングガスに SF<sub>6</sub> が広く使用されている[3]。しかし、Ge のエッチングで使用すると導波路の幅が減少するアンダーカットが生じてしまう課題があった。

そこで、Inductively Coupled Plasma (ICP) 装置で CHF<sub>3</sub> ガスを用いることで、アンダーカットの改善と垂直に近い側壁を製作し、Ge においても光導波路幅の高精度なエッチングを可能にした。その結果を Electronic Letters [4] で論文化し、MOC2015[5] で発表している。

図 1 に ICP 装置で CHF<sub>3</sub> を用いた Ge エッチング後の断面図を示す。この図より、Ge 光導波路のコア層の厚さと同じ 190nm のエッチングを確認できた。特に ICP パワー 800~1200W ではアンダーカットが発生していない。

図 2 に CHF<sub>3</sub> ガスを使用した Ge 光導波路の ICP ドライエッチング寸法制御の正確性を示す。この時の導波路線幅は 2 $\mu$ m である。

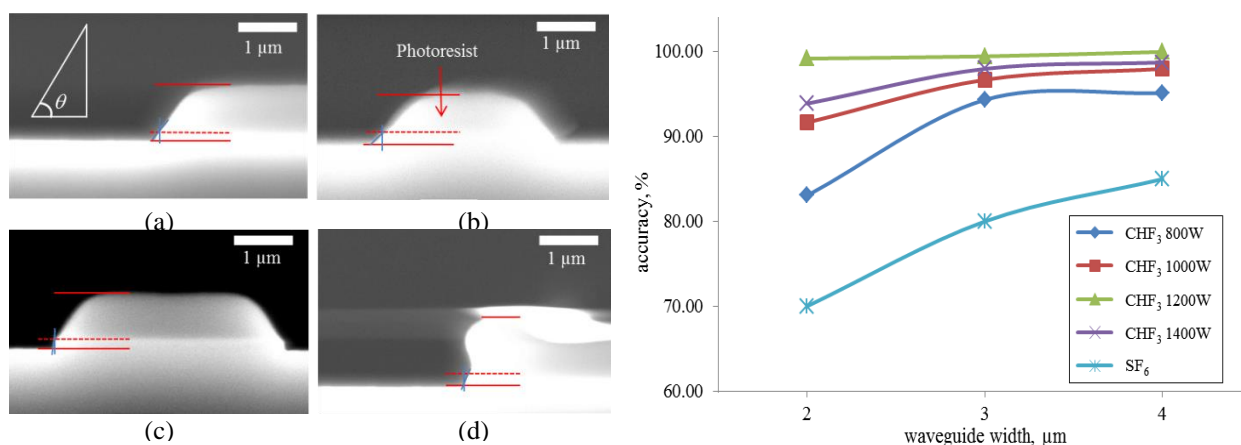


図 1. Ge 断面図 ICP パワー(側壁角  $\theta$ ): (a) 800 W (50°), (b) 1000 W (55°), (c) 1200 W (85°), (d) 1400 W (70°)

図 2. CHF<sub>3</sub> ガスと SF<sub>6</sub> におけるエッチング加工の正確性の比較

我々は製作の際 85° と垂直に近い側壁角と比較的高い選択比 (5:1) を可能にするため、CHF<sub>3</sub> ガスを使用し Ge のドライエッチングを行った。この結果、CHF<sub>3</sub> のガスを使用することにより Ge 光導波路のエッチングに正確な幅の制御をもたらすことを示した。

## 参考文献

- [1] J. Michel et al., OFC/NFOEC, PDP5A.6 (2012).
- [2] T. Okomura et al., MOC2015, J4 (2015).
- [3] S. Grigoropoulos et al., J. Vac. Sci. Tech., B15, 640 (1997).
- [4] A.S. Idris et al., Electron. Lett., 52, 22 (2016).
- [5] A.S. Idris et al., MOC2015, H23 (2015).