

2017 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

## 2017年ハイライト

2017年は光産業振興協会からの再委託により NEDO 先導 Pj を検討し、3次元導波路による新しい光集積回路の研究を行いました。また、戦略的基盤技術高度化事業の最終年度を迎え、アクティブ MMI レーザによる超高速直接変調技術、モード選択光源技術の検討を進め、欧州光通信国際会議 (ECOC、於ヨーテボリ) に論文採択されました。また 2017 年は各所からの招待講演の依頼を頂き、電子情報通信学会ソサイエティ大会、光スイッチ国際会議 (APC/PS、於ニューオーリンズ)、OSJ (日本光学会) シンポジウム (東京) などで、空間 1 次元モードと関連デバイス (光モードスイッチ、モード選択光源) に関する講演を行いました。加えて、2017 年には国際会議 ICO(International congress of optics) が国内開催され、当研究室からは 2 名の修士学生が発表を行いました。天皇皇后両陛下のご出席のもと会議が行われ、学生にとっては終生忘れられない会議になったのではないかと思います。またプロセス環境として、横浜国立大学より新たにダイシングソーをご寄贈頂き、移設・立ち上げ作業を行いました。

2017 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
2. 光モードスイッチ
3. アクティブ MMI レーザ
4. ICP トライエッチング条件
5. 強結合導波路

## High-light 2017

On 2017, we have carried NEDO FS program via OITDA, and researched about 3 dimensional waveguide circuits. It was also the last FY for support industry program (METI), and we have researched high speed and mode-selective laser diode (LD) by using active-MMI. The results were accepted for ECOC 2017. We have made several invited talks at IEICE society conferece, APC/PS, and OSJ symposium to make single dimensional mode-set and its related devices including optical mode switch and mode selective light source. In addition, we made two presentations at ICO-24 by master course students. And we newly introduce dicing-saw machine which wad donated from Yokohama National University.

On 2017, we run the following 5 topics. Please see the following pages in detail.

1. Optical sensing by using photonic integrated circuit
2. Optical mode switch
3. High speed mode selective light source by using active-MMI laser diode
4. ICP dry-etching
5. Highly-coupled waveguide

# 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。図2は、CO<sub>2</sub>がない場合(b)と濃度40%の場合(a)の測定結果を示している。CO<sub>2</sub>がない場合と濃度40%の場合のリングダウン時間5.95 $\mu$ sと5.74 $\mu$ sを用いると、CO<sub>2</sub>濃度は39%と評価される。他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。

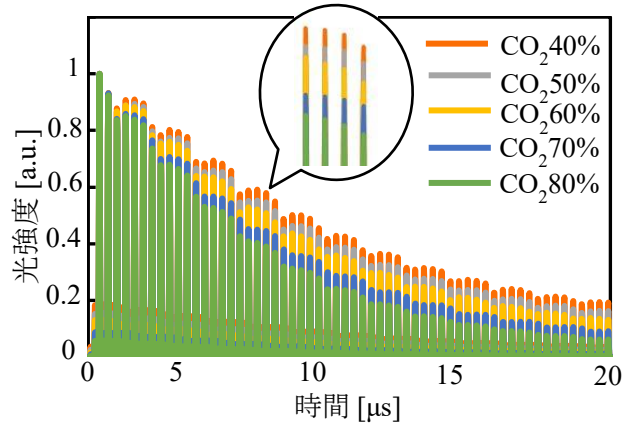


図1 CO<sub>2</sub> (40-80%)の測定結果

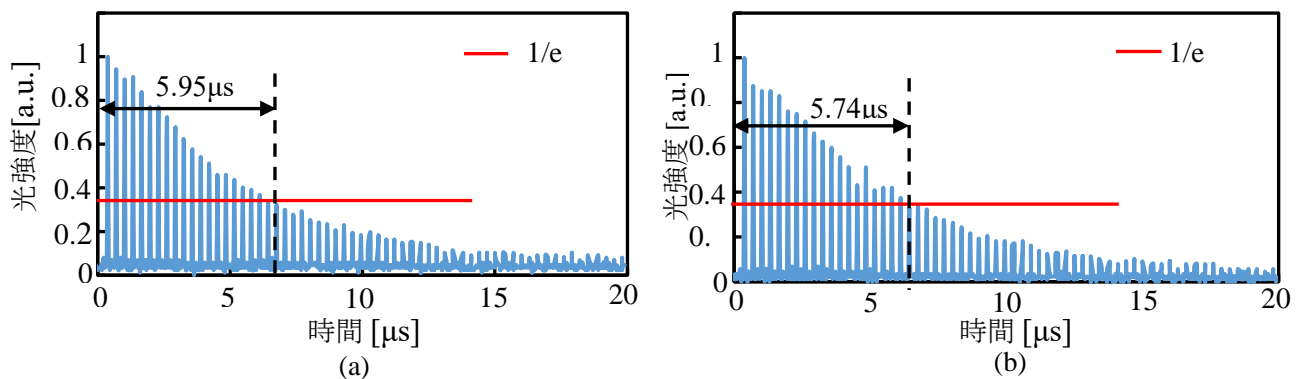


図2 40% CO<sub>2</sub> リングダウン波形. (a) CO<sub>2</sub>なし (b) With CO<sub>2</sub>あり

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

## 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.

# 光モードスイッチ

Ryan Imansyah 小江 祥太 森田 優斗 小川 慧 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).

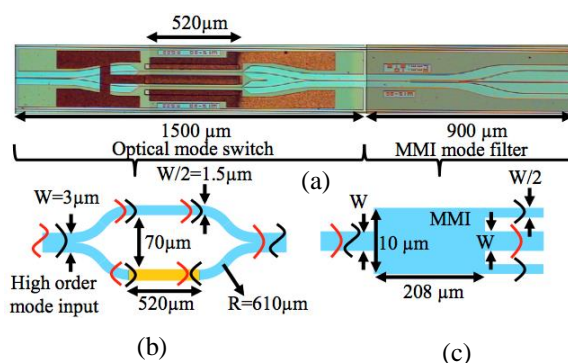


Fig. 1. Device configuration. (a) Top view of implemented device, (b) configuration detail of optical mode switch.

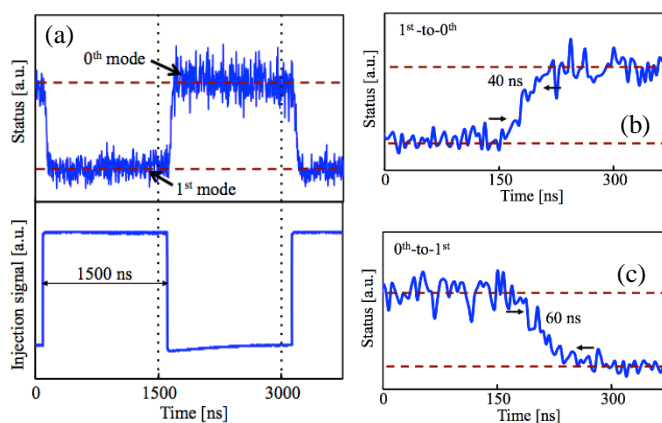


Fig. 2. Dynamic mode-switching result. (a) Injection signal and device status, (b) rise time, and (c) fall time.

# アクティブ MMI レーザによる超高速直接変調モード 選択光源の研究

洪 秉宙 森 智隆 姜 海松 浜本 貴一

モード選択光源を用いた空間モード多重は、スーパーコンピュータ等の情報処理装置内の配線速度を増大させる手法の1つである[1]。この実現に向け、多モード干渉導波路(MMI)を用いたモード選択光源を提案している。100GHz超の変調帯域を目的とし、複数のフォトンフォトン共振利用による帯域拡大を提唱し、2017年に34GHz高速直接変調を実証した[2]。本研究では、単一デバイスによる0次モードと1次モードの選択光源を製作した。結果、安定した両モードが観測され、40GHzを超える3dB高速変調帯域幅が確認された。

図1にMMIレーザの素子構造を示す。3本のアレイ導波路がMMI領域に接続されている。導波路構造はハイメサ構造である。この構造によって、MMI領域端での内部反射が起こり、各ア

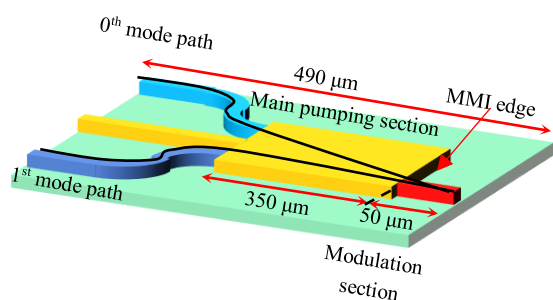


図1. MMIレーザ素子構造



図2. (a) 0次モードの発振； (b) 1次モードの発振

レイ導波路で内部共振が実現される。これにより、素子内に少なくとも6本の共振経路が存在し、複数のフォトンフォトン共振が起こる。電流注入するアレイ導波路を切り替える事で、0次モードと1次モードの発振を選択できる。その結果を図2に示す。また、図3に各モード発振時の小信号応答結果を示す。ゲイン電流注入増加によって、両モード共に帯域幅が増大している事が分かる。ゲイン電流170mAの時、両モードとも40GHzを超える3dB変調帯域幅が確認された。

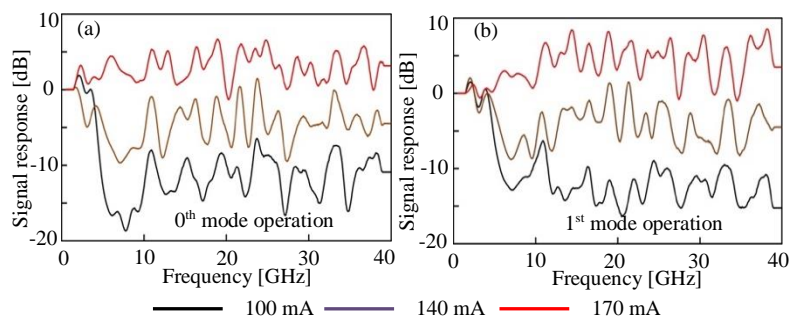


図3. 帯域幅増大法による小信号応答結果。(a) 0次モード発振時 (b) 1次モード発振時

## 参考文献

- [1] R. Ryf, et al., "Mode-Division Multiplexing Over 96 km of Few-Mode Fiber Using Coherent  $6 \times 6$  MIMO Processing," *J. Light. Tech.*, vol. 30, no. 4, pp.521–531, 2012.
- [2] B. Hong, et al., "Bandwidth Enhancement Scheme Demonstration (from 5 GHz to 34 GHz) on Direct Modulation Laser Diode using Multiple PPR (Photon-Photon Resonance) Active MMI," *ECOC*, P1.SC2.22, 2017.

# 異段差一括 ICP(誘導結合型プラズマ)ドライエッチングの条件

森田 優斗 姜 海松 浜本 貴一

通常、横方向 pin 構造のように電流注入領域と導波路領域のように2つの異なる深さが必要な場合、2回以上エッチングする必要がある。そこで、今回我々はマスク開口幅に依存してエッチング速度が変化する RIE-lag 現象[1-2]に注目した。横方向 pin 構造をこの RIE-lag 現象を利用したトレンチ pin 構造(図 1(a))とすることで、一度のエッチングで2種類以上の深さを削り工程の簡略化が可能である。そこで 0.8~15.0 $\mu\text{m}$  の様々な開口幅を持った Si ウェハを使用し、条件を変化させ、複数のマスク開口幅に対応できる最適なエッチング条件を検討した。その結果、ICP パワー1000W/Bias パワー50W において広い開口幅ではエッチング速度が速いかつ一定であり、狭い開口幅ではエッチング速度が低くなる条件を得(図 1(b))、トレンチ pin 構造を製作した(図 1(c))。

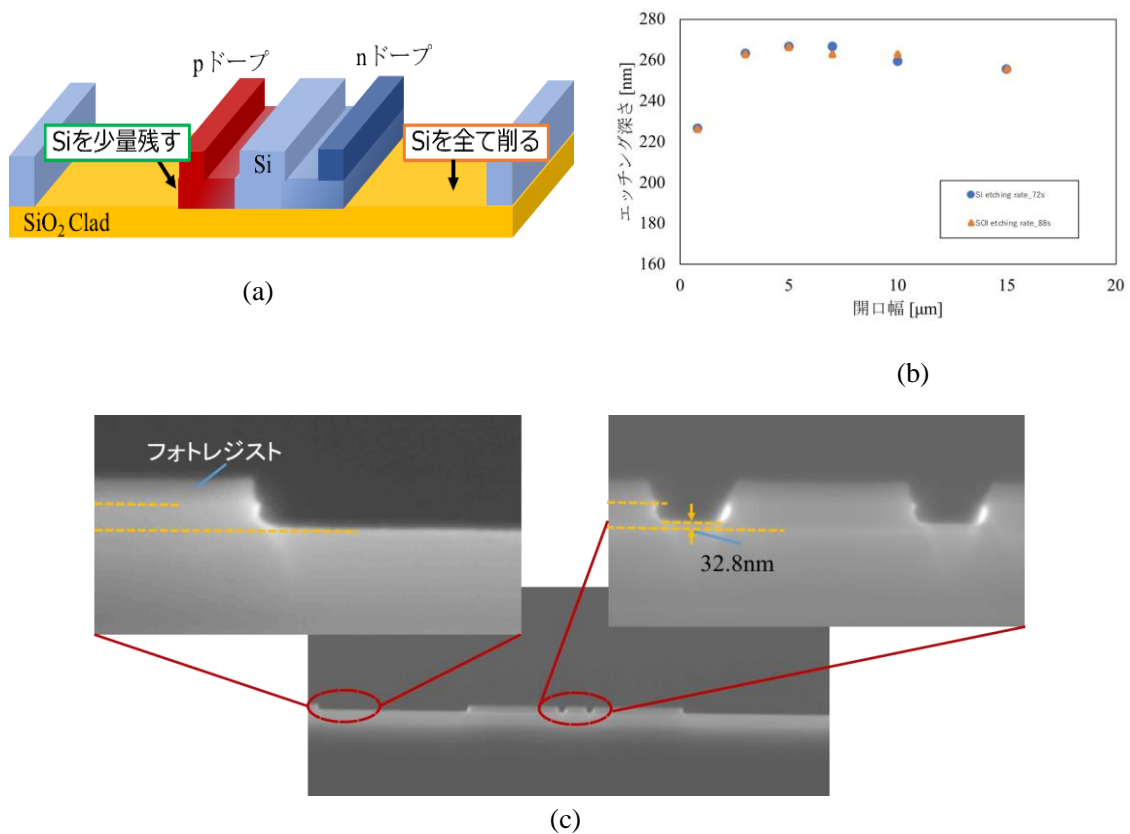


図 1(a)トレンチ pin 構造(b)RIE-lag を利用した異段差一括 ICP ドライエッチングの条件(c)製作したトレンチ pin 構造

## 参考文献

- [1] M. F. Doemling et al, "Observation of inverse reactive ion etching lag for silicon dioxide etching in inductively coupled plasmas," Appl. Phys. Lett, Vol.68, No.1, pp. 10-12, January 1996.
- [2] Henri Jansen et al, "RIE LAG IN HIGH ASPECT RATIO TRENCH ETCHING OF SILICON," Microelectronie Engineering, pp. 45-50, 1997.

# 強結合導波路

藤本 勘太郎 姜 海松 浜本 貴一

光ファイバの伝送容量増大に向け、空間モード多重伝送技術が近年活発的に研究されている。このモード多重伝送技術において、モード間のクロストークによる光信号伝送特性への影響が重要な課題となっている。特に光導波路の曲線部分において、光の電界分布のずれによる位相不整合が原因で光の中心が導波路の外側に寄り、高次モードの励起現象が生じることで、モード間クロストークが発生してしまい(図2(a))、光伝送信号の特性への影響が懸念される。導波路中心にスリット構造(図1)を用いることで導波路間が強結合となり、伝搬光中心のずれを防ぎ、曲線導波路でのモード間クロストークが抑制できると考えられる。本研究では、通常の導波路及びスリット入り強結合導波路において基本モードを伝搬させたときのモード間クロストークをシミュレーションにより比較することで、強結合導波路のモード間クロストーク抑制効果について検証した。

基本モードを伝搬するとき、通常の光導波路の曲線部分では光が外側に寄り、1次モードが励起されてしまう(図2(a))。しかし、スリットを入れた強結合導波路では(図2(b))、小さな二つの波形で0次モードが伝搬し、光の中心がずれることなく高次モードが励起しない。そのため、モード間クロストークが抑制できる。通常導波路とスリット入り強結合導波路に基本モードを伝搬させた時のモード間クロストークのシミュレーション結果を図3に示す。この結果より、曲率半径が $50\mu\text{m}$ の時、強結合導波路ではモードクロストークが約11dB抑制できることが確認できた。

今後はスリット幅とモード間クロストークの関係を確認し、よりモード間クロストーク抑制効果が高い導波路構造の実現を目指す。

## 参考文献

- [1] R. Essiambre et al., JLT., 28 (2010).
- [2] R. Ryf et al., OFC 2014, Th5B. 1 (2014).

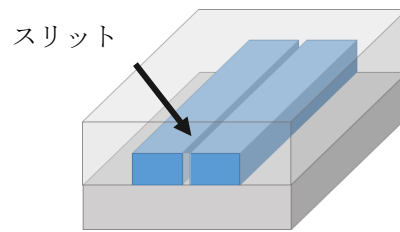


図1 スリット入り強結合導波路。

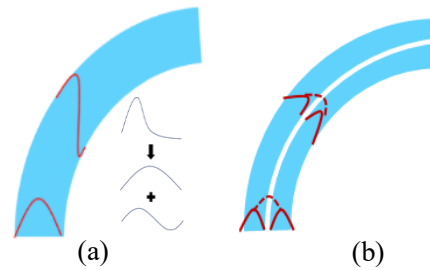


図2 通常の導波路及び強結合導波路での光伝搬の様子。(a) 通常の導波路；(b) 強結合導波路。

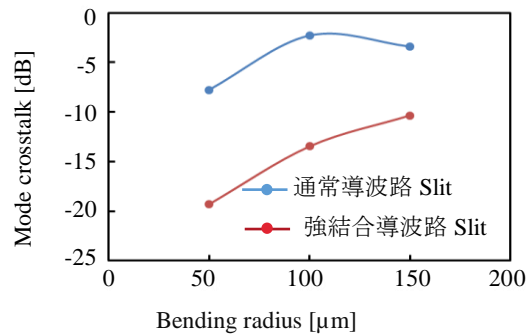


図3 モード間クロストークの比較。