

Poster presentation | 3 Optics and Photonics : 3.14 Silicon photonics and integrated photonics

📅 Thu. Sep 19, 2024 9:30 AM - 11:30 AM JST | Thu. Sep 19, 2024 12:30 AM - 2:30 AM UTC 🏛️ P07
(Exhibition Hall A)

[19a-P07-1~4] 3.14 Silicon photonics and integrated photonics

[19a-P07-1]

Improvement of Accuracy of Spectrographic Pulse-Waveform Retrieval Using Reservoir Computing

○Kanji Nagai¹, Okihiro Sugihara¹, Keisuke Kondo¹ (1.Utsunomiya Univ.)

[19a-P07-2]

Structural dependence of optical propagation loss in rare-earth slot-type optical waveguides

○Ryunosuke Fujimaki¹, Yuto Sakurada¹, Xuejun Xu², Tomohiro Inaba², Takehiko Tawara¹
(1.Nihon Univ., 2.NTT Bas. Res. Lab.)

[19a-P07-3]

Numerical investigation of silicon-organic hybrid high-speed spatial light modulator

○(D)Go Soma¹, Koto Ariu¹, Seidai Karakida¹, Yoshiaki Nakano¹, Takuo Tanemura¹ (1.The Univ. of Tokyo)

[19a-P07-4]

Influences of Barrier Layer Thickness on EL Properties for SiGe/Ge Multi Quantum Well LEDs

○Mayu Aikawa¹, Syuya Kikuoka¹, Michihiro Yamada¹, Kohei Hamaya^{2,3}, Kentaro Sawano¹
(1.Tokyo City Univ., 2.CSRN, Osaka Univ., 3.OTRI, Osaka Univ.)

リザーバーコンピューティングを用いたスペクトログラフィックパルス波形再生の高精度化

Improvement of Accuracy of Spectrographic Pulse-Waveform Retrieval Using Reservoir Computing

宇大院¹ (M2) 永井 幹治¹, 杉原 興浩¹, 近藤 圭祐¹

Utsunomiya Univ.¹, Kanji Nagai¹, Okihiro Sugihara¹, and Keisuke Kondo¹

E-mail: mc236525@s.utsunomiya-u.ac.jp

我々はシリコンフォトニクスを用いた超小型の光パルスアナライザを研究している¹⁾。これは二光子吸収フォトダイオードアレイ光相関器²⁾と波長可変フィルタを用いてスペクトログラムを計測し、パルスの波形を再生する仕組みであるが、光相関計で得られる波形が実際のパルス包絡線とは異なることから、元の波形を完全に再生できないという問題がある³⁾。本研究では、人工ニューラルネットワークの一種であるリザーバーコンピューティング (RC) を用いて、この問題の解決を目指している。

スペクトログラム計測に基づくパルス波形再生法では、パルスのスペクトルの時間変化を表すスペクトログラムを計測し、解析的に元の波形を再生するという方法が典型的である^{1,3)}。しかし、前述の通りこの方法での完全な波形再生は困難であるため、Fig. 1 に示すように、スペクトログラムを周波数ごとに分解して RC に入力し、パルス波形 (複素振幅) を推定する方法を検討した。RC の教師データは、LCoS フィルタを用いて任意に生成する複素パルス波形 (目標データ) と、我々の超小型パルスアナライザで計測されたスペクトログラム (入力データ) であり、実際のデバイスと実験系を用いて収集した。実験では、スペクトル半値全幅を 100 ~ 130 GHz まで 2 GHz 刻みで変化させたフーリエ限界パルスを教師データとして用意した。さらに、ノイズロバストな RC モデルを構築するため、規格化強度平均値 1.5% の正規分布の乱数を重畳したスペクトログラムも追加入力データとして用意し、RC に学習させた。RC の非線形ノード数は 1000 である。学習後、検証データとして半値全幅が 115 GHz のスペクトログラムを入力したときの、RC が出力したパルスの時間特性とスペクトル特性を Fig. 2 に示す。実際にパルスアナライザに入力された波形と RC が推定した結果が一致しており、少なくともフーリエ限界パルスに対しては本手法が有効であることが示された。その他詳細については当日報告する。

参考文献 1) K. Kondo et al. IEEE Photon. Technol. Lett., **35**, 609 (2023). 2) K. Kondo and T. Baba, Optica, **4**, 1109 (2017). 3) K. Kikuchi and K. Taira, IEEE J. Quantum Electron., **37**, 533 (2001).

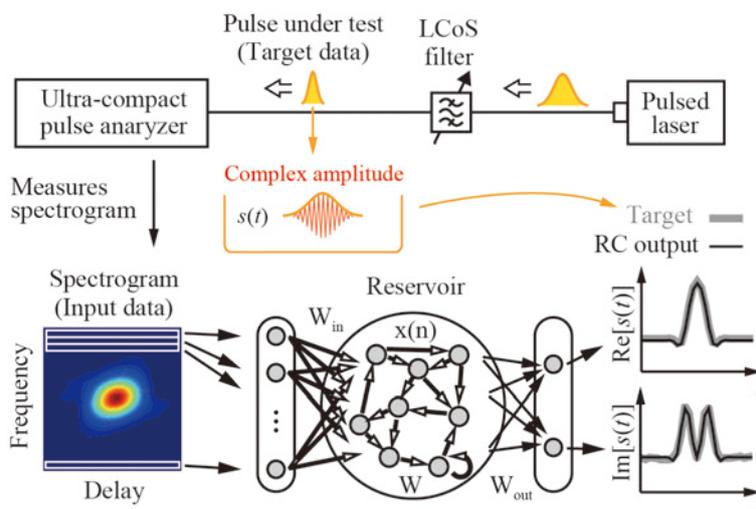


Fig. 1 Schematic of pulse waveform retrieval using ultra-compact pulse analyzer RC. Input data are spectrograms measured by the pulse analyzer. Target data (complex amplitude of pulses under test) are created using LCoS filter. RC outputs real and imaginary parts of complex amplitude.

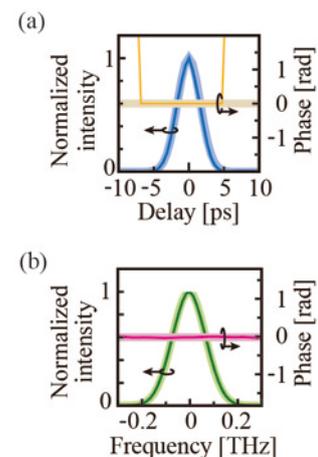


Fig. 2. Waveform and spectrum of pulse under test retrieved by RC. Dark- and light-colored curves show RC's estimation and input pulse, respectively.

希土類スロット型光導波路の光伝搬損失の構造依存性

Structural dependence of optical propagation loss in
rare-earth slot-type optical waveguides日本大¹, NTT 物性研² ◯(M2) 藤巻 隆之介¹, 櫻田 勇人¹, Xuejun Xu², 稲葉 智宏², 俵 毅彦¹Nihon Univ.¹, NTT Basic Research Lab.²,◯Ryunosuke Fujimaki¹, Yuto Sakurada¹, Xuejun Xu², Tomohiro Inaba², Takehiko Tawara¹

E-mail: tawara.takehiko@nihon-u.ac.jp

近年、高速かつ低消費電力動作が可能な光集積回路 (Si フォトニクス) を用いた光通信技術への注目が高まっている。光集積回路を作製する上で、我々は回路素子の一つである光増幅器や光メモリ材料として、Si 基板上にエピタキシャル成長された希土類酸化物 (REO) を用いることを目指している[1]。これら素子を光接続するために、導波路コアには REO を用いる必要があるが、REO は Si に比べて低屈折率であるため、従来の光導波路構造を用いることができない。そこで、我々は低屈折率層に TM モードで光伝搬が可能な Si/REO/SiN スロット型光導波路 (SWG) を採用し、光伝搬損失を 4.70 dB/cm まで低減することに成功している[2]。本研究ではさらなる低損失化を目指し、上部クラッド層である SiN および導波路層である REO の構造パラメータ (幅・厚さ) の最適化シミュレーションを行なった。

Fig. 1 に計算に用いる REO-SWG 構造の断面図を示す。SOI 基板上にコア層として REO、上下クラッド層として Si (厚さ 72 nm) 及び SiN を積層した構造とした。この構造において有限要素法 (FEM) を用いて光閉じ込め係数と光伝搬損失の数値解析を行った。Fig.2 は SiN 層の幅を 1.2 μm に固定した場合の光伝搬損失の REO 厚さ (t_{REO}) および SiN 厚さ (t_{SiN}) 依存性を示す。TM モードの主電界成分である E_y は導波路内に閉じ込められている (挿入図) 一方で、光伝搬損失が極小となる t_{REO} と t_{SiN} の組み合わせがあることが確認された。Fig.3 は $t_{\text{SiN}} = 300 \text{ nm}$ の時の電界成分 E_x を示している。伝搬損失の低くなる $t_{\text{REO}} = 80 \text{ nm}$ (Fig.3(a)) では、BIC (Bound state in the continuum) [3]により電界が導波路内に強く閉じ込められているが、 $t_{\text{REO}} = 200 \text{ nm}$ (Fig.3(b)) では光が横方向に漏洩していることが確認できる。このことから光伝搬損失の抑制には、マイノリティな E_x 電界成分を BIC により導波路内に閉じ込めることが効果的であることがわかった。光伝搬損失の構造依存性について詳細なシミュレーション結果は講演に譲る。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP23K23263, JP23K26580 の助成を受けたものです。

[1] T. Tawara *et al.*, Appl. Phys. Lett. **102** (2013) 241918. [2] X. Xu *et al.*, Opt. Express **29** (2021) 41132.

[3] C.-L. Zou *et al.*, Laser Photonics Rev. **9** (1), 114-119 (2015).

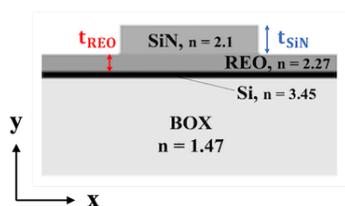


Fig.1 Schematic of the Si/REO/SiN slot-type optical waveguide used in the FEM calculations.

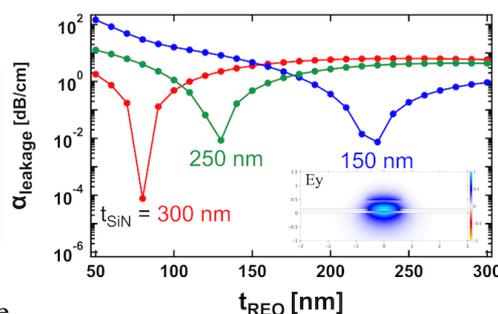


Fig.2 REO thickness dependence of α_{leakage} for different SiN thicknesses (150, 250, 300 nm). The inset shows a majority E_y component ($t_{\text{REO}} = 80 \text{ nm}$, $t_{\text{SiN}} = 300 \text{ nm}$).

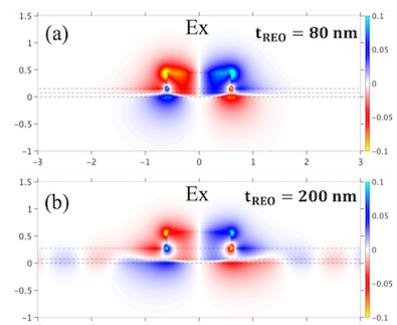


Fig.3 Mode profiles of minority E_x component for SiN width of 1.2 μm and thickness of 300 nm. REO thickness of (a) 80 nm (BIC) and (b) 200 nm, respectively.

シリコン-有機ハイブリッド型高速空間光変調器の数値検証

Numerical investigation of silicon-organic hybrid high-speed spatial light modulator

○(D)相馬豪, 蟻生高人, 唐木田晴大, 中野義昭, 種村拓夫 (東大院・工)

○Go Soma, Koto Ariu, Seidai Karakida, Yoshiaki Nakano, Takuo Tanemura (The Univ. of Tokyo)

E-mail: go.soma@tlab.t.u-tokyo.ac.jp

背景: GHz を超える高速な空間光変調器 (SLM: spatial light modulator) は, 光インターコネクタやイメージングなど多くの応用に期待されている. そこで近年, 有機電気光学 (OEO: organic electro-optic) 材料を用いた変調器が注目を集めている[1-4]が, 高効率・低損失・高速性のいずれかの観点で課題がある. 本稿では, 高効率・低損失なシリコン-有機ハイブリッド型空間光変調器を提案し, FDTD 法を用いて数値検証を行う. さらに高速動作に向けて, 素子の小型化手法を提案し, その有効性を実証する.

提案構成と数値検証結果: 提案する変調器は, Fig. 1(a)のように OEO 材料を埋め込んだ Si のスロット導波路アレイから構成される. スロット導波路に対して周期構造を導入することで, x 偏波の面入射光は横(y)方向に導波するモードへ結合し, 導波モード共振 (GMR: guided-mode resonance) を起こす. その結果, 反射 (透過) 特性に鋭い波長依存性が発生する. ここで, Si 格子を介して OEO 材料に外部電界を印加することで, ポッケルス効果により共振波長がシフトし, 反射 (透過) 光の変調が可能となる [Fig. 1(b)]. 共振波長のシフト量は, OEO 材料への光の閉じ込め係数 Γ_{EO} および電界の向きにより決定される. 提案構成で用いるスロット導波路では, OEO 材料に光を強く閉じ込めることができることに加え [Fig. 1(c)], 光電界と外部印加電界の向きが揃っているため, 高効率な変調が実現される. また, 金属を用いていないため, 吸収損失を最小限に抑えることができる.

続いて変調速度を検討する. 提案構成では, Si 格子内の抵抗と格子間の容量による RC 帯域によって速度が制限される. スロット導波路長とアレイ幅を共に L とすると, この RC 帯域はアレイ部全体の面積 L^2 に反比例する [Fig. 1(d)]ため, 高速化には素子の小型化が鍵となる. 一般に GMR は横方向に伝搬するモードを用いるため, L を十分に長くする必要がある [5]. 実際, $L = 10 \mu\text{m}$ の素子では, 横方向への光の散乱により共振が得られない [Fig. 1(e), 黒点線]. これに対して, フォトニック結晶による反射構造を両側に配置することで, $L = 10 \mu\text{m}$ の場合でも所望の共振が得られることを見出し, $L = \infty$ の場合 [Fig. 1(b)]と同様の良好な変調効果を確認した [Fig. 1(e), 実線]. Fig. 1(d)より, n 型 (10^{18}cm^{-3}) Si を用いることで, 全誘電体構造であるにも関わらず, 10 GHz オーダーの高速な動作が期待される.

まとめ: 高効率・低損失なシリコン-有機ハイブリッド型空間光変調器を提案し, 数値実証を行った. さらに, $10 \mu\text{m}$ 角の素子で動作する小型構造を数値実証し, 高速動作への道を示した.

謝辞: 本研究の一部は, 国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究(#03601, #08801), 文部科学省科学研究費の助成(#24KJ0557)により実施された.

参考文献: [1] Y. Kosugi *et al.*, IEICE Electron. Express **13**, 20160595 (2016). [2] J. Zhang *et al.*, APL Photonics **8**, 121304 (2023). [3] I.-C. Benea-Chelmus *et al.*, Nat. Commun. **13**, 3170 (2022). [4] T. Zheng *et al.*, Nat. Commun. **15**, 1557 (2024). [5] F. Gambino *et al.*, Results in Optics **6**, 100210 (2022).

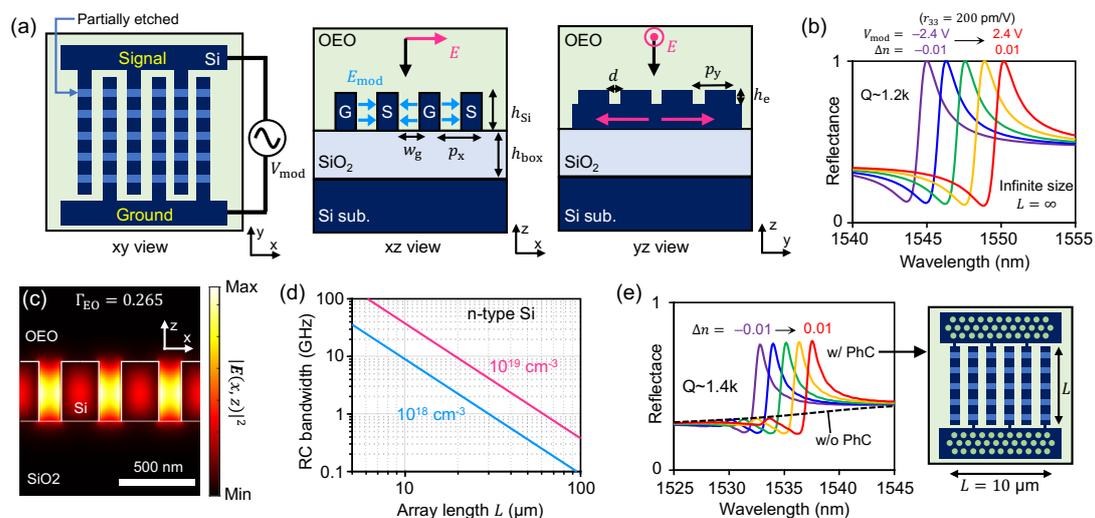


Fig. 1. (a) Schematic of the proposed modulator. (b) Simulated reflection spectrum with various refractive index changes in the active OEO material. ($h_{\text{box}}=2 \mu\text{m}$, $h_{\text{Si}}=400 \text{ nm}$, $h_e=100 \text{ nm}$, $d=150 \text{ nm}$, $p_x=400 \text{ nm}$, $p_y=650 \text{ nm}$, $w_g=150 \text{ nm}$.) (c) Electric field distribution at the resonant wavelength. (d) Calculated RC bandwidths of our receiver as a function of the array length L . (e) Simulated reflection spectrum of $10\text{-}\mu\text{m}$ -square devices with and without photonic crystal (PhC) reflectors. The right inset shows a schematic of the modulator with PhC reflectors.

SiGe/Ge 多重量子井戸 LED における EL 発光特性の障壁層厚依存性

Influences of Barrier Layer Thickness on EL Properties for SiGe/Ge Multi Quantum Well LEDs

¹東京都市大学, ²阪大基礎工 CSRN, ³阪大 OTRI

○相川 茉由¹, 菊岡 柊也¹, 山田 道洋¹, 浜屋 宏平^{2,3}, 澤野 憲太郎¹

¹Tokyo City Univ., ²CSRN, Osaka Univ., ³OTRI, Osaka Univ.

○M. Aikawa¹, S. Kikuoka¹, M. Yamada¹, K. Hamaya^{2,3}, K. Sawano¹

E-mail: g2481201@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、量子暗号化技術の重要性が高まり、円偏光を光通信に利用する方法が提案されている。特に Si 基板上にモノリシック集積化でき、通信用波長帯域にて発光可能な Ge がスピン LED 材料として注目されている。Ge の(111)面方位は Ge 上に高品質な強磁性体のエピタキシャル成長を可能にし、強磁性体からスピン偏極電子を Ge へ注入することができる[1]。これまでに我々は、発光波長制御や発光強度増大のために、活性領域への SiGe/Ge 多重量子井戸構造の導入を試み、PL 発光の Ge 量子井戸層厚依存性について報告している[2]。本研究では、SiGe 障壁層厚の EL 発光特性に与える影響について調べた。

2. 実験方法、結果と考察

固体ソース MBE を用いて Si(111)上に、多重量子井戸(MQW)LED 構造を作製した(Fig. 1)。2段階成長法にて Ge-on-Si(111)を成長させ、その上に Si_{0.2}Ge_{0.8}(膜厚 d=0~8 nm)/Ge (6nm)を 10 周期成長した。その後 P ドープ Ge 層、低抵抗コンタクト形成のための δ -P ドーピング/Si 極薄層を挿入した Ge キャップ層を成長した。作製した基板をフォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによりメサ型ダイオードに加工し、トップ電極と裏面電極として Au を蒸着した。

Fig. 2(a)に各試料の IV 測定結果を示す。順方向電流はほとんど違いが見られないが逆方向電流には差が見られた。Fig. 2(b)に各 SiGe 障壁層厚の on/off 比をまとめる。

これより、4 nm で最大となることが分かる。Fig. 3 に EL スペクトルを示す。0.77 eV 付近にピークを持った発光が得られている。ピークエネルギーの SiGe 層厚の依存性は少なく、これはシミュレーション結果とも合致する。EL 強度については、on/off 比と同様に、障壁層厚 4 nm において発光強度が最大となった。この相関関係について現在調査中である。Fig. 3(a) EL spectra and (b) EL intensities for fabricated SiGe/Ge MQW LEDs だが、Ge 単層(d=0 nm)よりも発光強度が向上しており、多重量子井戸による閉じ込め効果が EL においても得られることが示された。

本研究の一部は、科研費(21H04635, 23H05458, 23H05455, 24H0034)の支援を受けて行われた。References; [1] K. Hamaya et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 51, 393001(2018). [2] R. Kanesawa et al., Mat. Sci. Semi. Proc. 177, 108300 (2024). [3] M. Yamada et al., Appl. Phys. Lett. 107, 132101 (2015).

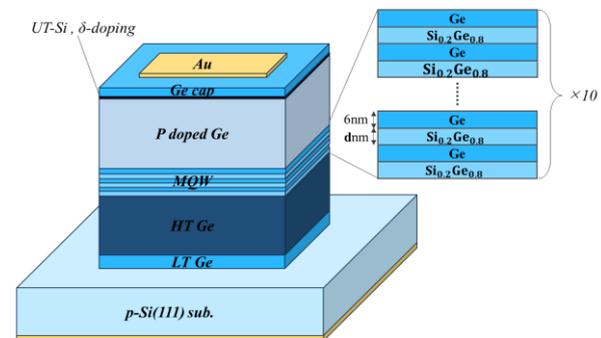


Fig.1 Ge-on-Si(111)LED structure

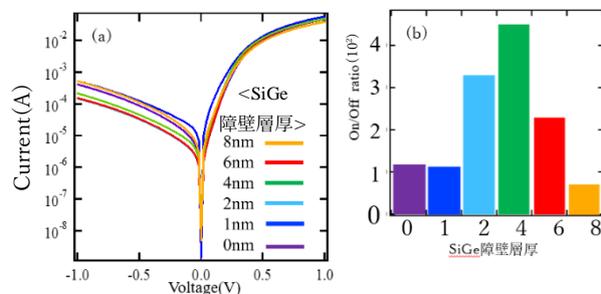


Fig.2(a) IV characteristics (b) on/off ratios for fabricated SiGe/Ge MQW LEDs

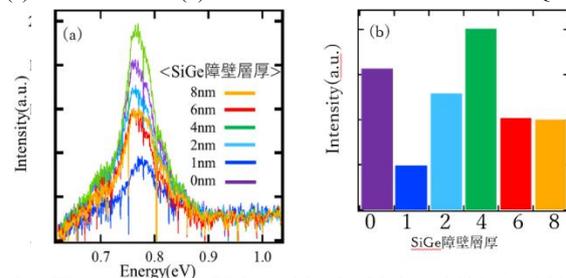


Fig.3(a) EL spectra and (b) EL intensities for fabricated SiGe/Ge MQW LEDs