特集 8.

SiNマイクロコム光源を用いたWDM通信

Wavelength-Division-Multiplexed Communications
Using SiN Microcomb Light Sources

田邉孝純

abstract

SiN マイクロコムは，単一の励起レーザから多数の等間隔な光キャリアを生成できるため，WDM 光通信用の小型多波長光源として有望である．本稿では，ソリトンコムの原理と分散設計，高効率化に向けたソリトン結晶及びダークパルスコムを概説する．更に，100 波長級の IM-DD 伝送，市中光ファイバを用いた低遅延伝送，Si フォトニクス変調器との接続実験を紹介し，メトロエリアネットワークやデータセンタ応用に向けた課題と展望を述べる．

キーワード：SiN マイクロコム，WDM 通信，ソリトンコム，シリコンフォトニクス，低遅延通信

1. はじめに

光周波数コムは，周波数軸上に等間隔に並ぶ多数の光スペクトル線からなる光源である．従来はモード同期固体レーザを用いて生成され，精密計測や周波数標準で発展してきた[1]．これに対し，高 Q 値微小光共振器中のカー非線形効果を用いて連続波レーザから光周波数コムを生成するマイクロコムが実現され，光周波数コムの集積化が進みつつある[2]．

マイクロコムの中でも，散逸性カーソリトンは重要である．微小光共振器中で非線形性と分散，損失と外部励起が釣り合うことで，時間領域では安定な短パルスが形成され，周波数領域では低雑音で位相のそろったコムスペクトルが得られる[3],[4]．特にシリコンナイトライド（SiN）は，通信波長帯で低損失であり，二光子吸収が小さく，CMOS プロセスとの親和性もあるため，集積型マイクロコムの有力な材料である[5],[6]．

マイクロコムの光通信応用では，各コム線を波長分割多重通信のキャリアとして用いる．これまでに，カーコムや SiN ソリトンコムを用いた Tbit/s 級の大容量伝送が報告されており，マイクロコムがレーザアレイを置き換える多波長光源となり得ることが示されている[7]~[9]．ただし，マイクロコムの本質的な価値は，データセンタ内外，メトロエリアネットワークで，求められる低遅延，低消費電力，小型化，実装性を満たせる可能性がある点である．単一素子で多数波長を一括して生成できるマイクロコムは，このような用途に適している．

図 1 に，キャンパス間時空間同期ネットワークの概念を示す．各キャンパスで得られるセンサ情報，データ，計算資源を低遅延な光ネットワークで接続することで，場所と時刻を同期した広域デジタルツインを構成できる．このような応用では，多波長並列性，低遅延，低コスト，低消費電力が重要となり，マイクロコムが中核素子となり得る．

本稿では，SiN マイクロコムの原理と特徴，波長多重（WDM）光通信実験，低遅延伝送，及び Si フォトニクス（SiP）変調器との集積に関する研究を紹介する．

2. マイクロコムの原理と特徴

マイクロコムは，微小光共振器を用いて生成する光周

田邉孝純　正員　慶應義塾大学理工学部
E-mail takasumi@elec.keio.ac.jp
Takasumi TANABE, Member (Faculty of Science and Technology, Keio University, Yokohama-shi, 223–8522 Japan).
電子情報通信学会誌　Vol.109 No.11 pp.1002–1008 2026 年 11 月
©2026 電子情報通信学会

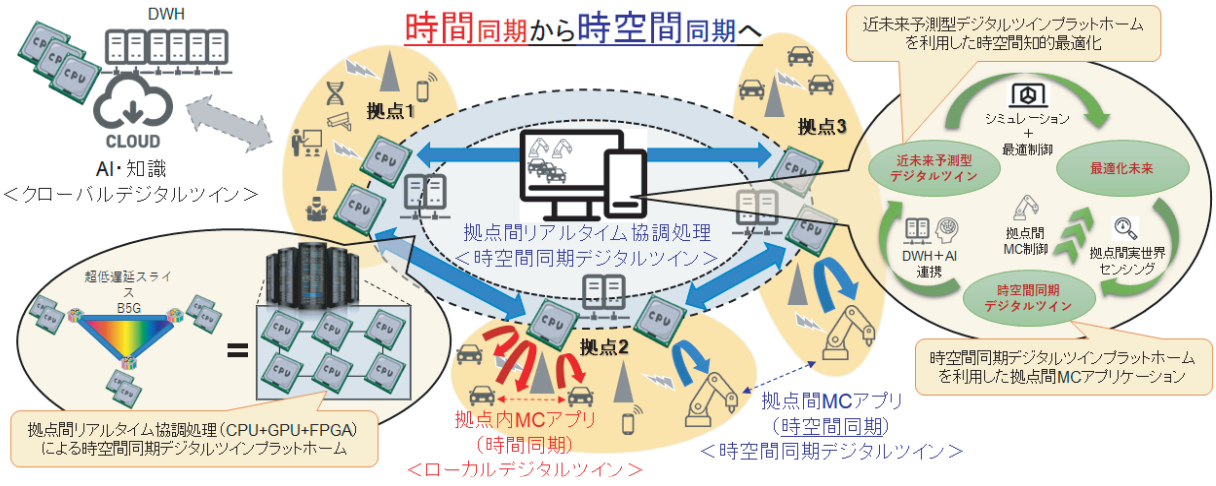


図 1　拠点間時空間同期ネットワークの概念図　拠点内のセンサ，データウェアハウス，AI 処理，シミュレーションを低遅延光ネットワークで接続することで，場所と時刻を同期した広域デジタルツインを構成する．マイクロコムを用いた多波長光通信は，高容量，低遅延，低消費電力を同時に満たすメトロエリアネットワークの基盤技術となる．

波数コムである[2),(5),(6)]．連続波レーザを高 Q 値共振器に入射すると，共振器内で光強度が高まり，カー非線形効果による四光波混合が生じる．その結果，励起光を中心として，周波数軸上に等間隔に並ぶ多数の光成分が発生する．この間隔は，共振器の自由スペクトル間隔（FSR）で決まる．WDM 光通信では，各コム線を個別の光キャリアとして利用できるため，単一の励起レーザと一つの共振器から多波長光源を構成できる．

光通信に用いるためには，単に多数の波長成分が発生すればよいわけではない．各コム線の雑音が小さく，時間的に安定である必要がある．このような低雑音かつ安定な発振状態の代表例が，散逸性カーソリトンである．この状態では，カー非線形性と群速度分散，外部励起と共振器損失が釣り合い，時間領域では共振器内を周回する短パルスが形成される．周波数領域では，低雑音で位相のそろった広帯域なコムスペクトルが得られる[3),(4)]．

通常ソリトンコムの生成には，励起光の波長を共振器共鳴に対して青側から赤側へ掃引し，熱効果と非線形効果のバランスを取りながらソリトン存在領域へ入れる．近年は，半導体レーザを高 Q 値共振器に結合し，共振器からの戻り光でレーザ周波数を共振器モードへ同期させる自己注入同期（SIL）も注目されている．SIL は，制御系の簡素化に有効であり，小型マイクロコム光源に向けた重要な技術である[10)]．

集積型マイクロコムの材料として，SiN は有力である．SiN は通信波長帯で低損失であり，二光子吸収が小さいため，高 Q 値共振器を用いた非線形光源に適している[11)]．ただし，ソリトンコムを得るには，低損失な共振器だけでなく，群速度分散の設計が不可欠である．微小光共振器の分散は，材料分散と導波路分散の和で決まる[12)]．SiN 導波路では，膜厚や導波路幅を調整することで，通信波長帯において異常分散となる条件を設計できる（図 2(a)）．異常分散領域では，カー非線形効果と分散が釣り合い，短パルスが安定に存在できる．

我々は，SiN 導波路の膜厚と導波路幅を設計し，1.55 μm 帯で異常分散となる条件を用いて SiN マイクロリング共振器を作製した．作製した共振器では Q 値 10^6 級の共振特性が得られ，ソリトンコム生成に適した低損失共振器であることを確認した（図 2(b)）．

マイクロコムを光通信用多波長光源として使う利点は，波長数を増やしても光源数を増やさずに済む点である．従来の WDM 送信器では，各波長に独立したレーザを用いることが多く，チャネル数が増えると，レーザ数，温度制御，駆動回路，波長管理が増える．一方，マイクロコムでは単一の励起レーザから多数の波長を発生できるため，光源部の小型化と低消費電力化に有利である．

ただし，実際の通信システムでは，各コム線に十分な光パワーが必要である．コム線パワーが不足すると，変調器や結合部での損失を補うために光増幅器が必要となり，消費電力と装置規模が増える．したがって，マイク

■ 用　語　解　説

IM-DD（Intensity Modulation/Direct Detection，強度変調・直接検波）　光の強度に情報を載せ，受信側でその強度を光検出器により直接電気信号へ変換する通信方式．構成が簡単で低遅延化に適する．

FEC（Forward Error Correction，前方誤り訂正）　送信データに冗長な情報を付加し，受信側で伝送中に生じた誤りを検出・訂正する技術．通信の信頼性を高められる．

DSP（Digital Signal Processing，デジタル信号処理）　アナログ信号を数値化して演算し，波形のひずみや伝送路の影響を補償する技術．光通信では等化や復調などに用いられる．

NRZ（Non-Return-to-Zero，非ゼロ復帰）　各ビット区間の途中で信号レベルをゼロに戻さず，二つのレベルを維持して情報を表す変調形式．光通信で広く用いられる．

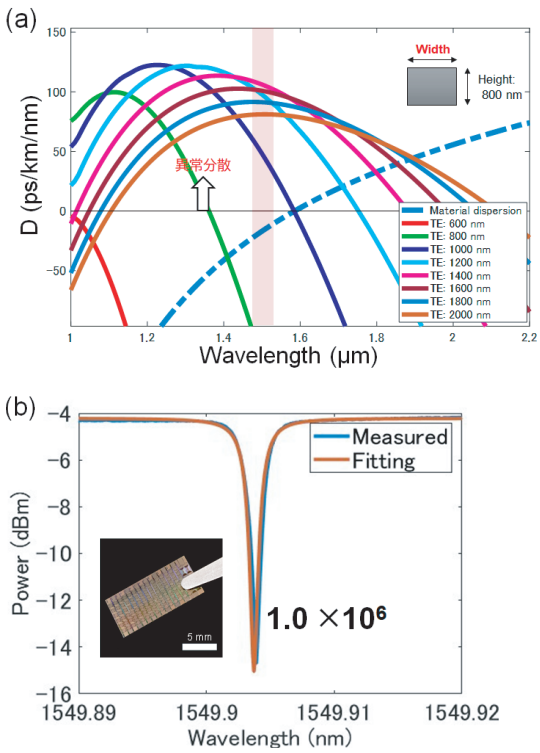


図 2　SiN 導波路の分散設計 (a) と作製した SiN マイクロリング共振器の共振特性 (b)

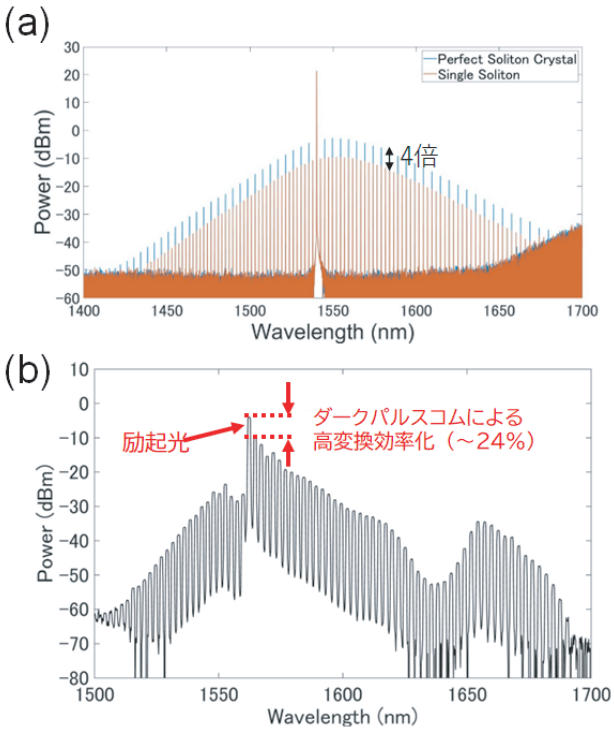


図 3　ソリトン結晶によるコム線パワーの向上 (a) とダークパルスコムによる高効率な多波長光源 (b)

ロコムの実用性は，多数波長を発生できることだけでなく，励起光から各コム線へどれだけ効率良くパワーを分配できるかにも依存する．

この課題に対する一つの方法が，ソリトン結晶である．ソリトン結晶は，複数のソリトンが共振器内に規則的に配置された状態であり，単一ソリトンに比べて高いコム線パワーを得やすい[13]．我々は，SiN マイクロリング共振器でソリトン結晶を生成し，単一ソリトン状態と比べて各コム線パワーが約 4 倍に増加することを確認した．これは，SiN 光コム光源と SiP 変調器を光増幅器なしで接続する上で重要である（図 3(a)）．

もう一つの高効率化の方向が，ダークパルスコムである．通常の明るいソリトンコムは異常分散領域で生成されるが，ダークパルスコムは正常分散領域で生成される[14]．ダークパルスコムでは，励起光のエネルギーが多数のコム線へ比較的効率良く分配され，コム線間のパワー分布も平坦になりやすい．我々は，正常分散領域で動作する SiN マイクロリング共振器を用いて，内部変換効率約 24% のダークパルスコムを確認している（図 3(b)）．

以上のように，SiN マイクロコムでは，高 Q 値共振器，分散設計，ソリトン生成制御，高効率なコム状態が重要である．一方，SiN は高速変調器の集積には不向きであるため，SiP 変調器との組合せが実用的な WDM 送信器に向けた鍵となる．

3. WDM 光通信の実証実験

3.1　マイクロコムによる波長多重光通信

マイクロコムを光通信用多波長光源として用いるには，各コム線が十分な光パワーと低雑音性を持ち，データ変調に耐える必要がある．我々は，SiN マイクロリング共振器で生成したソリトンコムを WDM 光源として用い，各チャネルに 10 Gbit/s の強度変調・直接検波（IM-DD：Intensity Modulation/Direct Detection）(用語) 信号を載せて伝送実験を行った．40 km のシングルモードファイバ伝送後にビット誤り率（BER：Bit Error Rate）を測定し，全 C 帯をカバーする多波長伝送において BER $< 10^{-9}$ の前方誤り訂正（FEC：Forward Error Correction）(用語) レスエラーフリー動作を確認した[15]（図 4）．また，多数の波長チャネルを用いた大容量伝送を実証するため，高い Q 値と比較的小さな FSR を両立できる MgF_2 共振器を用いた．その結果，全 C 帯にわたる 145 本のコム線を利用し，10 Gbit/s/ch，総容量 1.45 Tbit/s に相当する伝送が可能であることを示した[16]．

この結果は，マイクロコムが大容量伝送に使えることを示すだけでなく，単純な IM-DD 方式と組み合わせても波長方向の並列化により総容量を拡大できることを示している．デジタルコヒーレント方式に比べ，IM-DD 方式は構成が簡単で，デジタル信号処理（DSP：Digital Signal Processing）(用語) や FEC による処理遅延も小さい．このため，データセンタ内外やメトロエリアの短距離・

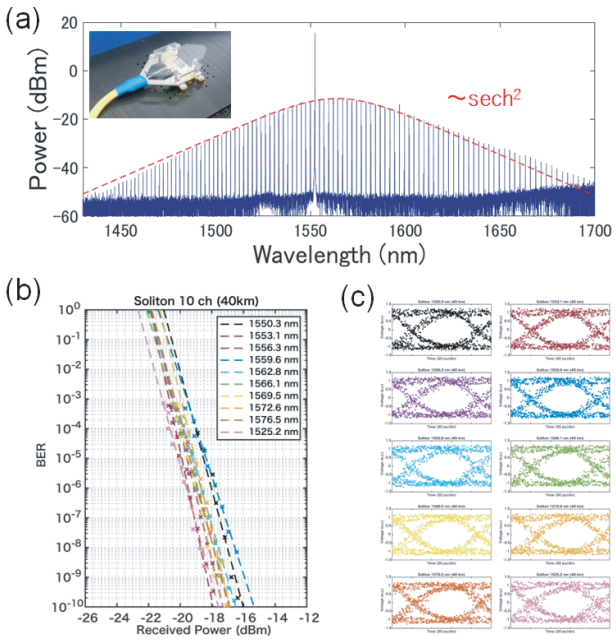


図 4　WDM 光通信の実証に用いた光コム (a)，各波長での BER (b)，各波長でのアイパタン (c)

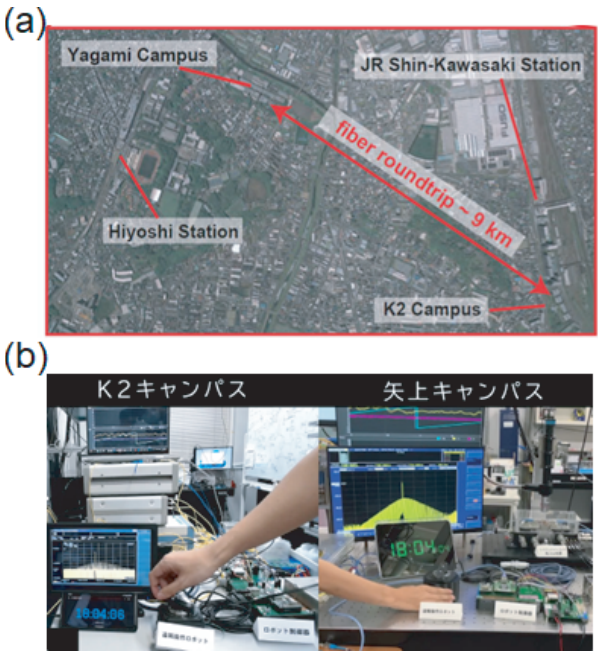


図 5　低遅延光伝送実証に用いた市中光ファイバ (a) と 2 拠点間ロボットアームを用いたリアルタイム遠隔制御 (b)

中距離リンクに適している．

3.2　市中光ファイバを用いた低遅延光伝送

次に，実環境での有効性を確認するため，慶應義塾大学矢上キャンパスと新川崎 K2 キャンパスを接続する約 4.5 km（片道）の市中光ファイバを用いて伝送実験を行った[16]．このファイバは市中に敷設されており，温度変化，振動，偏波変動などの影響を受ける．本実験では IM-DD 方式を用いたため，偏波変動の影響を受けにくく，簡易なシステムで，実環境でも安定な伝送が可能であった．

低遅延性を評価した結果，システム全体の遅延は 47.9 μs であり，そのうち光ファイバ伝搬による遅延は 44.8 μs であった．したがって，変調，受信，信号処理に起因する過剰遅延は 3.1 μs に抑えられた．この小さな過剰遅延は，複雑な DSP や FEC を用いない IM-DD 方式の利点である．また，複数波長で BER $< 10^{-9}$ のエラーフリー動作を確認した．実環境においても低遅延かつ多波長の通信が可能であることを示した（図 5）．

重要な点は，マイクロコムにより多数の波長チャネルを比較的容易に利用できるため，チャネル当りの伝送容量を無理に高める必要がないことである．その結果，高次変調や複雑な DSP に依存せず，単純な IM-DD 方式を採用できる．この構成により，波長多重による大容量化と，信号処理を抑えた低遅延化を同時に実現できる．

3.3　ミッションクリティカル応用

低遅延かつ高信頼な通信は，遠隔ロボット制御，工場内制御，医療支援，モビリティ制御などで重要となる．これらの用途では，通信遅延や停止がシステム全体の安定性に直接影響するため，単なる大容量化だけではなく，低遅延性と信頼性が求められる．

我々は，市中光ファイバを用いた低遅延伝送の応用例として，遠隔制御デモンストレーションを行った．矢上キャンパスと新川崎 K2 キャンパスにそれぞれ 1 軸ロボットアームを設置し，光通信を介して制御信号を伝送した．その結果，往復 9 km の実環境ファイバを経由しても，違和感の少ないリアルタイム制御が可能であることを確認した．

以上の結果は，マイクロコム光源の価値が大容量化だけにとどまらないことを示している．単一光源から多数の波長チャネルを生成し，IM-DD 方式と組み合わせることで，低遅延，低消費電力，多波長並列性を同時に生かすことができる．

4.　デバイス化の取組み

マイクロコムを WDM 送信器へ展開するには，SiN で生成した多数のコム線を低損失に取り出し，必要な波長を変調する必要がある．SiN は低損失で非線形吸収が小さく，マイクロコム生成に適している．一方，高速変調器の集積には不向きである．これに対し，SiP は pn 接合を用いた高速変調器や波長選択回路を集積できる．したがって，SiN で多波長光源を生成し，Si で変調する構成[17]が有効である（図 6(a)）．

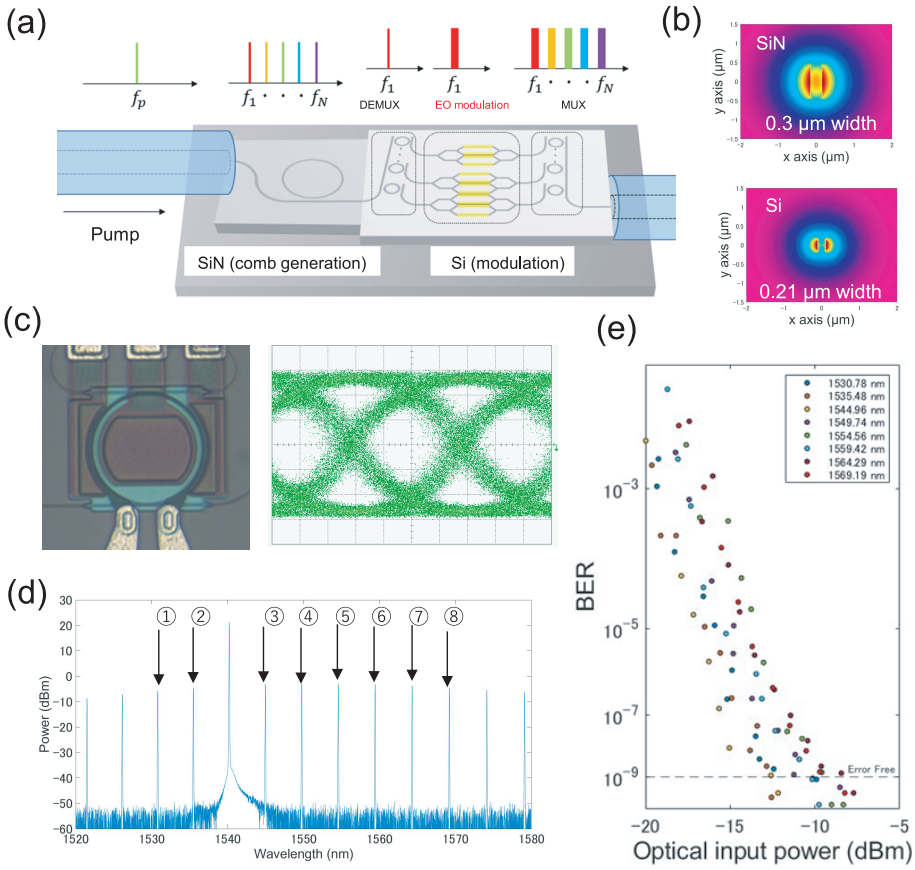


図 6　SiN-Si 接合のイメージ図 (a)，SiN-Si 接合に用いたエッジカプラ断面でのモード (b)，Si リング変調器とアイパタン (c)，SiN 完全ソリトン結晶による多波長光源 (d)，SiN 完全ソリトン結晶と Si リング変調器を用いた多波長 IM-DD 伝送の BER (e)

4.1　Si-SiN チップの接合に向けた課題

SiN 光コム光源と SiP 回路を接続するため，我々は逆テーパ構造を用いた SiN-Si 接合を検討した．SiN 導波路と Si 導波路では，モードサイズと実効屈折率が異なるため，単に端面を近づけるだけでは高効率な結合は得られない．逆テーパにより導波路端部の光モードを広げ，モード形状と実効屈折率を同時に整合させることで，広帯域で低損失なチップ間接続を実現した（図 6(b)）．

実験では，SiN チップと Si チップを端面接続し，結合効率を評価した[18]．屈折率整合材を用いない場合でも結合効率 45.9%，すなわち結合損失約 3.4 dB を得た．更に，界面に屈折率整合材を導入した場合には，結合効率 58.8%，結合損失約 2.3 dB を達成した．この結果は，SiN マイクロコム光源と SiP 回路を直接接続できる可能性を示している．

4.2　Si リング変調器

SiP 側の変調器として，我々は Si マイクロリング変調器を用いた（図 6(c)）．マッハツェンダ変調器は広帯域で安定であるが，素子面積と駆動電圧が大きくなりやすい．一方，リング変調器は動作波長が狭く温度に敏感であるが，小型で低駆動電圧動作が可能である．また，共振波長を対象チャネルに合わせることで，多数のコム線の中から特定波長を選択的に変調できる．

Si リング変調器では，pn 接合に電圧を印加して屈折率を変化させ，リング共振波長を高速にシフトさせることで強度変調を行う．また，TiN ヒータを用いて共振波長を熱的に調整する．我々は，FSR 約 250 GHz，Q 値約 1.2×10^4 の Si リング変調器を用い，12.5 Gbit/s 非ゼロ復帰（NRZ：Non-Return-to-Zero）(用語)信号で広い波長範囲におけるアイ開口と BER $< 10^{-9}$ のエラーフリー動作を確認した[19]．

高 Q リング変調器は温度変化に敏感であるため，Drop ポートの平均光パワーをエラー信号として用い，ヒータへフィードバックする安定化が必須である．この PID 制御により，長時間にわたりエラーフリー動作を維持できることを確認した．

4.3　SiN ソリトン結晶と Si リング変調器による伝送

次に，SiN マイクロコム光源と Si リング変調器を組み合わせた多波長 IM-DD 伝送を行った．ここでは高いコム線パワーを得るため，SiN マイクロリング共振器で完全ソリトン結晶を生成した．用いた SiN 共振器は Q 値約 1.5×10^6，FSR 約 300 GHz であり，2 個のソリトン

が規則的に存在する状態では，実効的に約 600 GHz 間隔の強いコム線が得られる（図 6(d)）．

完全ソリトン結晶では，単一ソリトン状態に比べて各コム線パワーが約 6 dB 高くなる．このため，SiN チップから Si チップへ光を入力する際に，チップ間に光増幅器を入れなくても十分な変調が可能となる．実験では，複数のコム線を一括して Si チップへ入力し，Si リング変調器の共振波長を対象チャネルに合わせることで，波長選択的に 12.5 Gbit/s NRZ 信号を変調した．

測定では，1,526.14 nm から 1,609.57 nm までの 18 本のコム線を評価した．このうち，1,526.14 nm から 1,599.29 nm までの 16 チャネルで，BER $< 10^{-9}$ の FEC レスエラーフリー伝送を達成した（図 6(e)）．この結果[19]は，SiN マイクロコム光源と SiP 変調器を組み合わせることで，光増幅器に依存しにくいチップスケール WDM 送信器を構成できる可能性を示している．

実用化に向けては，多チャネル同時変調，リング変調器の温度安定化，SiN チップ，Si チップ，励起レーザ，RF 配線，制御回路を含むパッケージングが課題となる．しかし，SiN で高品質な多波長光源を作り，Si で高速に変調し，その間を SiN-Si 接合で接続する構成は，チップスケール WDM 送信器に向けた有力な方向である．

5. ま　と　め

本稿では，SiN マイクロコム光源を用いた WDM 光通信について，原理，通信実験，低遅延伝送，及び SiP 変調器との接続に向けた取組みを述べた．マイクロコムは，単一の励起レーザと微小光共振器から多数の等間隔な光を生成できるため，レーザアレイ型 WDM 光源を小型化し，低消費電力化できる可能性を持つ．

SiN マイクロリング共振器は，低損失で非線形吸収が小さく，ソリトンコム生成に適している．一方，実用的な多波長光源とするには，各コム線の光パワーを高める必要がある．我々は，ソリトン結晶によるコム線パワー向上，及びダークパルスコムによる高効率化を示した．

また，100 波長を超える IM-DD 伝送により Tbit/s 級伝送を示し，市中光ファイバを用いたキャンパス間伝送では数 μs 程度の過剰遅延で低遅延伝送を実現した．更に，ロボットアームを用いた遠隔制御実験により，マイクロコム光通信がミッションクリティカル応用にも有効であることを示した．

デバイス化に向けては，SiN 光コム光源と SiP 変調器の組合せが重要である．我々は，SiN-Si 接合を用いた低損失なチップ間接続を示し，SiN 完全ソリトン結晶と Si リング変調器を組み合わせることで，光増幅器を用いない多波長エラーフリー伝送を実現した．今後，ターンキー動作，多チャネル安定化，パッケージングを進めることで，メトロエリアネットワーク，データセンタ間接続，分散コンピューティング基盤への応用が期待される．

本成果の一部は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP16007）の結果得られたものである．また，本稿で紹介した研究成果は，慶應義塾大学理工学部田邉研究室のメンバー，特に菅野　凌氏，川西悟基氏，熊崎　基氏，谷川幸彌氏，及び慶應義塾大学理工学部物理学科専任講師藤井　瞬氏らの協力により得られたものである．関係各位に感謝する．

文　　献

（1） T. Udem, R. Holzwarth, and T.W. Hänsch, “Optical frequency metrology,” Nature, 416, 233–237, 2002.
（2） P. Del’Haye, A. Schliesser, O. Arcizet, T. Wilken, R. Holzwarth, and T.J. Kippenberg, “Optical frequency comb generation from a monolithic microresonator,” Nature, 450, 1214–1217, 2007.
（3） T. Herr, V. Brasch, J.D. Jost, C.Y. Wang, N.M. Kondratiev, M.L. Gorodetsky, and T.J. Kippenberg, “Temporal solitons in optical microresonators,” Nat. Photonics, 8, 145–152, 2014.
（4） T.J. Kippenberg, A.L. Gaeta, M. Lipson, and M.L. Gorodetsky, “Dissipative Kerr solitons in optical microresonators,” Science, 361, eaan8083, 2018.
（5） A.L. Gaeta, M. Lipson, and T.J. Kippenberg, “Photonic-chip-based frequency combs,” Nat. Photonics, 13, 158–169, 2019.
（6） L. Chang, S. Liu, and J.E. Bowers, “Integrated optical frequency comb technologies,” Nat. Photonics, 16, 95–108, 2022.
（7） J. Pfeifle, V. Brasch, M. Lauermann, Y. Yu, D. Wegner, T. Herr, K. Hartinger, P. Schindler, J. Li, D. Hillerkuss, R. Schmogrow, C. Weimann, R. Holzwarth, W. Freude, J. Leuthold, T.J. Kippenberg, and C. Koos, “Coherent terabit communications with microresonator Kerr frequency combs,” Nat. Photonics, 8, 375–380, 2014.
（8） P. Marin-Palomo, J.N. Kemal, M. Karpov, A. Kordts, J. Pfeifle, M.H.P. Pfeiffer, P. Trocha, S. Wolf, V. Brasch, M.H. Anderson, R. Rosenberger, K. Vijayan, W. Freude, T.J. Kippenberg, and C. Koos, “Microresonator-based solitons for massively parallel coherent optical communications,” Nature, 546, 274–279, 2017.
（9） B. Corcoran, M. Tan, X. Xu, A. Boes, J. Wu, T.G. Nguyen, S.T. Chu, B.E. Little, R. Morandotti, A. Mitchell, and D.J. Moss, “Ultra-dense optical data transmission over standard fibre with a single chip source,” Nat. Commun., 11, 2568, 2020.
（10） B. Shen, L. Chang, J. Liu, H. Wang, Q.-F. Yang, C. Xiang, R.N. Wang, J. He, T. Liu, W. Xie, J. Guo, D. Kinghorn, L. Wu, Q.-X. Ji, T.J. Kippenberg, K. Vahala, and J.E. Bowers, “Integrated turnkey soliton microcombs,” Nature, 582, 365–369, 2020.
（11） S. Sota, K. Handa, S. Fujii, T. Tanabe, Y. Uzawa, K. Furusawa, and N. Sekine, “Fabrication of silicon nitride based high-Q microring resonators prepared by the hot-wire CVD method and their applications to frequency comb generation,” Opt. Mater. Express, 14, 1128–1138, 2024.
（12） S. Fujii and T. Tanabe, “Dispersion engineering and measurement of whispering gallery mode microresonator for Kerr frequency comb generation,” Nanophotonics, 9, 1087–1104, 2020.
（13） D.C. Cole, E.S. Lamb, P. Del’Haye, S.A. Diddams, and S.B. Papp, “Soliton crystals in Kerr resonators,” Nat. Photonics, 11, 671–676, 2017.
（14） X. Xue, Y. Xuan, Y. Liu, P.-H. Wang, S. Chen, J. Wang, D.E. Leaird, M. Qi, and A.M. Weiner, “Mode-locked dark pulse Kerr combs in normal-dispersion microresonators,” Nat. Photonics, 9, 594–600, 2015.
（15） S. Fujii, S. Tanaka, T. Ohtsuka, S. Kogure, K. Wada, H. Kumazaki, S. Tasaka, Y. Hashimoto, Y. Kobayashi, T. Araki, K. Furusawa, N. Sekine, S. Kawanishi, and T. Tanabe, “Dissipative Kerr soliton microcombs for FEC-free optical communications over 100 channels,” Opt. Express, 30, 1351–1364, 2022.

(16) K. Tanikawa, S. Fujii, S. Kogure, S. Tanaka, S. Tasaka, K. Wada, S. Kawanishi, and T. Tanabe, “Field trial of optical transmission experiment employing a microresonator frequency comb light source for low-latency, short-reach optical communication,” IEICE Trans. Electron., E108-C, no.3, pp. 146–152, March 2025.
(17) H. Shu, L. Chang, Y. Tao, B. Shen, W. Xie, M. Jin, A. Netherton, Z. Tao, X. Zhang, R. Chen, B. Bai, J. Qin, S. Yu, X. Wang, and J.E. Bowers, “Microcomb-driven silicon photonic systems,” Nature, 605, 457–463, 2022.
(18) R. Sugano, J. Kokubu, R. Otake, S. Fujii, and T. Tanabe, “Broadbandwidth edge coupler structure for SiN-Si heterogeneous integration,” IEICE Trans. Electron., E108-C, no. 11, 572–578, Nov. 2025.
(19) R. Sugano, M. Imamura, A. Shirasaki, S. Kogure, M. Okano, S. Fujii, and T. Tanabe, “Error-free IM-DD transmission using a SiN soliton crystal and a Si ring modulator,” Conference on Lasers and Electro-Optics 2026, STU1C.2, Charlotte, USA, May 2026.

（2026 年 7 月 1 日受付　2026 年 8 月 26 日最終受付）



田邉　孝純（正員）

平 12 慶大・理工・電子卒．平 16 同大学院博士課程了．同年 NTT 物性科学基礎研入社．平 22 慶大専任講師，平 30 同教授．博士（工学）．Optica Fellow．非線形光学，マイクロ・ナノフォトニクスの研究に従事．