

3

2025
Vol.99 No.3



No.3

特集	高周波・光デバイス	High Frequency and Optical Devices
巻頭言		
デジタルインフラにおける歴史的変革期の到来と 高周波・光デバイスへの期待……………	1-01	Arrival of A Historical Turning Point of Digital Infrastructure and Opportunities for High Frequency and Optical Devices Shu Namiki
並木 周		
巻頭論文		
高周波・光デバイスの最新動向と将来展望……………	2-01	The Latest Status and Future Outlook of High Frequency and Optical Devices Kenji Masuda
増田健之		
5G基地局用16W GaN電力増幅器モジュール……………	3-01	16W GaN Power Amplifier Module for 5G Massive MIMO Base-stations Satoru Honda, Eri Teranishi, Katsuya Kato
本田 慧・寺西絵理・嘉藤勝也		
データセンター向け 800Gbps/1.6Tbps伝送用200Gbps EML&PD……………	4-01	200Gbps EML Chip and PD Chip for 800Gbps/1.6Tbps Transmission for Data Center Shinya Okuda, Ryota Takemura, Yohei Hokama, Asami Uchiyama, Ryota Fujihara, Daiki Tsubouchi
奥田真也・竹村亮太・外間洋平・内山麻美・藤原諒太・坪内大樹		
デジタルコヒーレント通信方式用 波長モニター内蔵DFB-CAN……………	5-01	DFB-CAN with Wavelength Monitor for Digital Coherent Optical Transmission System Hiroyuki Okazaki, Kiyotomo Hasegawa, Shinichi Kaneko, Junichi Suzuki
岡崎拓行・長谷川清智・金子進一・鈴木純一		
100°×73°広画角80×60画素サーマルダイオード 赤外線センサー“MeDIRシリーズ”……………	6-01	80×60 Pixels Thermal Diode Infrared Sensor "MeDIR Series" with 100°×73° Field of View Shinichi Yasui, Ryo Miura, Yoshinori Takahashi
安井慎一・三浦 遼・高橋貴紀		
社外技術表彰……………	7-01	Technical Commendations

執筆者の所属は執筆時のものです。

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標です。

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集では全エリアを支える基盤となる“高周波・光デバイス”をご紹介します。

巻頭言

デジタルインフラにおける歴史的変革期の到来と 高周波・光デバイスへの期待

Arrival of A Historical Turning Point of Digital Infrastructure and
Opportunities for High Frequency and Optical Devices



並木 周 *Shu Namiki*

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究センター長

Research Director, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1990年代後半、インターネットは急速に普及し、2000年のテレコムバブルを招いた。このことは、光通信技術発展史における重要な出来事として今も語り草となっている。その後の20年間では、スマートフォンの登場もあり、さまざまなクラウドサービスが普及し世の中のデジタル化が大きく進んだ。その間、光通信技術はテレコムからデータコムへ適用先を拡大していった。そして現在、生成AIの衝撃的な登場で、世界は大きな歴史的変革期を迎えようとしており、光通信技術は、いよいよコンピュータの中の通信であるコンピュートコムへも適用されようとしている。

総務省によると、過去20年間データトラフィックはおおむね年率30%で増大し続け100倍に増大した。このような著しい技術革新には、光通信やモバイル通信技術の発展はもちろん、少なからずムーアの法則が功を奏してきたと言える。そして時代がポストムーアへと移行する中、生成AIにおける大規模言語モデル(LLM)のスケーリング則は発見された。その結果、2022年には数千億以上のパラメータ数を扱うChatGPT^(注1)が登場し、世界に衝撃を与えた。生成AIは、B5G (Beyond 5G) / 6GによるCyber Physical System (CPS)の根幹を担うゲームチェンジャーであり、まさに内閣府が提唱するSociety 5.0を実現する重要技術として期待される。しかし、これが広く普及するには、センサーを含むエッジからクラウドまであらゆる場所と状況において、これまで以上に大量のデータが効率よく収集され処理されなければならない。言うなれば、我々には、ムーアの法則に頼ることなくより高度なデジタルインフラを実現するという未曾有の難題が突きつけられているのだ。

ポストムーア時代では、チップ単位面積当たりの性能向上が鈍化するため、システム全体で性能向上を図る並列化を推進せざるを得ない。生成AIにおいては、GPU(Graphics Processing Unit)やTPU(Tensor Processing Unit)などのアクセラレータ(xPU)を多数用いた並列計算システムの大規模化競争が激化しており、数万台のxPUを用いたAIデータセンターが続々と構築されている。こうした並列システムの更なる大規模化において、二つの問題が顕在化している。一つは、並列化を実現するためのチップ間ネットワークのボトルネックである。並列化によって、チップ内に閉じていた膨大なデータのやりとりがチップ間に拡(ひろ)がり、帯域・遅延・距離・電力効率ともに要求仕様が従来に比して格段に厳しくなっている。もう一つは、大規模化に伴う消費電力の急増である。これは並列化の必然でもあり、ハイパースケラらがAIデータセンター建設に向け原子力発電の活用を進めようとして話題になっている。このような中グリーンで持続的発展可能な社会を目指すには、大規模なチップ間ネットワークの高効率・高性能化はもちろん、エッジからクラウドまでをつなぐ広域ネットワークに加え電力供給網をも包含するインフラシステム全体での最適化・効率化が重要である。すなわち、仮想化をベースとしたアーキテクチャの見直し及びアプリケーションごとの最適化を見据え、材料や動作原理にまで立ち帰ったデバイスレベルでの技術革新が不可欠であり、総合的な技術の目利きと継続による真の差別化技術の醸成が改めて重要となっている。

言うまでもなく、帯域・遅延・距離・電力効率のすべてにおいて大きな潜在性を持つ光デバイス技術などへの期待がこれまで以上に高まっており、総合的に優れる三菱電機グループの先進的な高周波デバイス、光デバイス、赤外線センサーデバイスの今後の更なる発展とSociety 5.0を支える次世代デジタルインフラ構築への貢献に期待したい。

(注1) ChatGPTは、OpenAI OpCo, LLCの登録商標である。

高周波・光デバイスの最新動向と将来展望

The Latest Status and Future Outlook of High Frequency and Optical Devices



増田健之*
Kenji Masuda

*高周波光デバイス製作所長

要 旨

デジタルトランスフォーメーション(DX)の推進とセンシング技術の発達によって、情報のデジタル化が進み、第5世代の無線通信や光ファイバー通信インフラを通じてリアルタイムに情報が収集・伝達されるようになっている。さらに、ChatGPT^(注1)を始めとするAIの急速な発展によって、労働の効率化や機器の高度化が急速に進んできている。これによってスマートシティ、モビリティサービス及び遠隔医療などの新しいビジネスアイデアが生まれてきており、より豊かな社会の実現が進んでいくものと考えられる。その実現に欠かせない重要な製品として、より高性能なセンサー・高周波デバイス及び光デバイスに期待が寄せられている。

(注1) ChatGPTは、OpenAI OpCo, LLCの登録商標である。

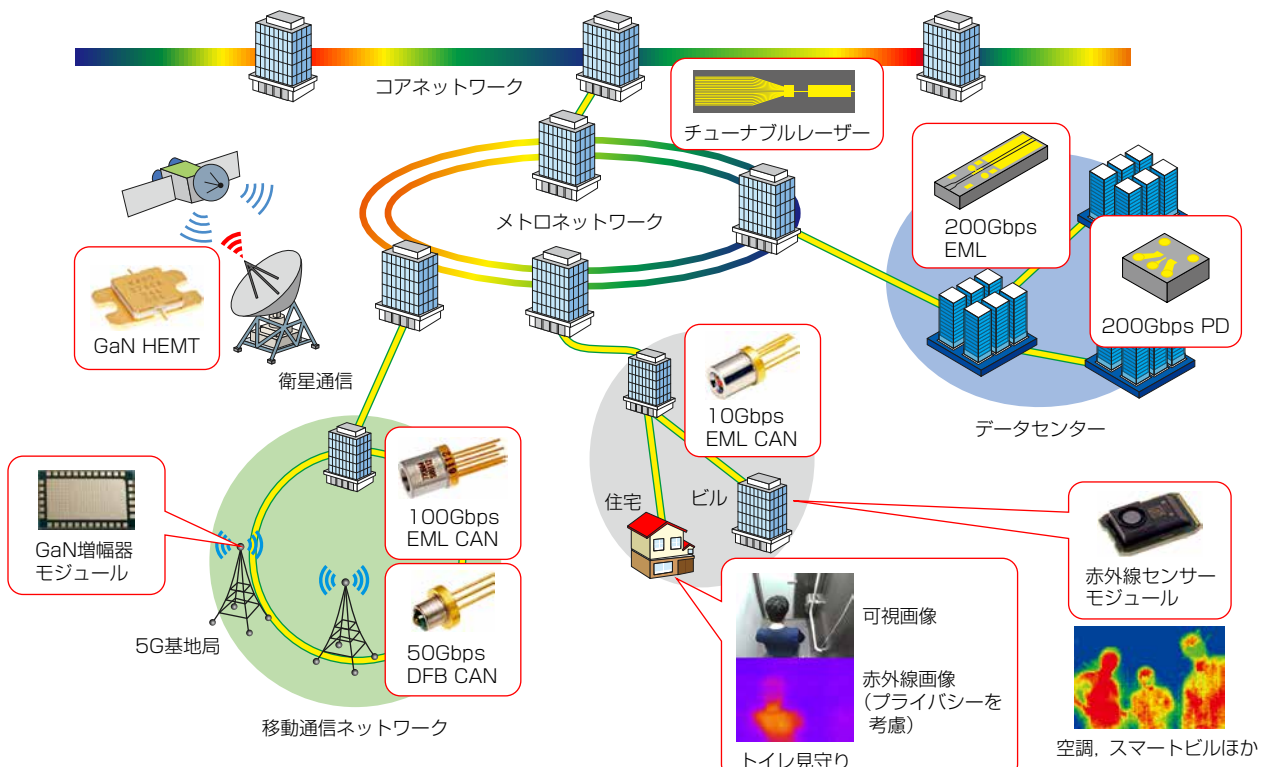
1. ま え が き

デジタル化は多くの分野で進行しており、特にセンサー技術を用いた人間の行動状態・把握、知覚のデジタル化が注目され、人間の活動情報や遠隔地の情報を無線・有線通信によるネットワークでリアルタイムで把握できるようになっている。また、過去の知見や経験、そしてSNS(Social Networking Service)の投稿やGPS(Global Positioning System)位置情報、オンライン購買行動等の社会行動もデジタルデータとして蓄積され、ビッグデータとしてAIや機械学習(ML)で分析・解析されている。これらによって、知識や経験がなくても高度な判断が可能になってきている。一方で急速なAI/ML発展・活用を始めとするあらゆる情報のデジタル化によって、消費電力増大が社会問題になってきており、持続的な社会発展に向けての急務な課題である。このような社会課題の解決、そして更なる発展を支えていくインフラ基盤は通信とセンシング技術であり、それらを支えるデバイスとして高周波デバイス、光デバイス及び赤外線センサーが挙げられる(図1)。本稿ではこれらの最新動向と将来展望について述べる。

2. 高周波デバイス

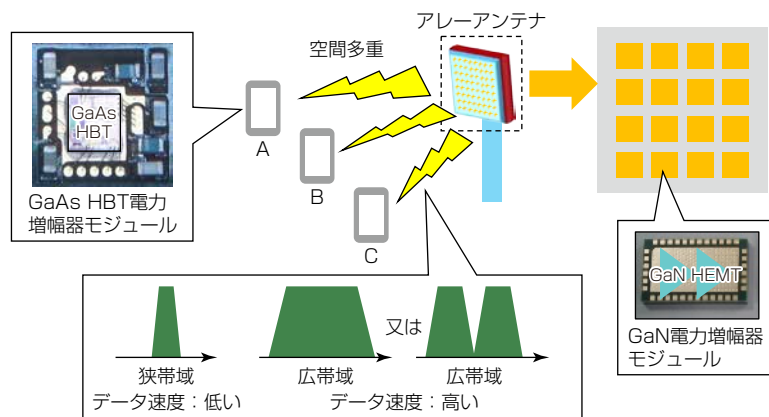
2.1 市場・技術動向

GaAs(ヒ化ガリウム)に代表される高周波用化合物半導体デバイスの主な用途は、所望の無線電力レベル(およそ1～数百W)に高周波信号を増幅する電力増幅器である。Si(シリコン)系デバイスに比べて高周波動作と高耐圧特性を持つため、高い電源電圧で動作でき、同じゲート幅のトランジスターで、より高い出力電力密度を実現できる。その代表例が携帯電話機及び基地局用電力増幅器(図2)、衛星通信やレーダー用電力増幅器(図3)である。2010年代になると、GaAsよりも高い電源電圧(20～50V)で動作可能なGaNデバイスの実用化が進み、GHz以上の高周波帯で高出力かつ高効率動作が要求されるレーダーや衛星通信用地上局では、GaAsからGaN電力増幅器への置き換えが始まった。



GaN：窒化ガリウム、HEMT：High Electron Mobility Transistor、5G：第5世代移動通信システム、EML：Electro-absorption Modulated Laser、CAN：CAN型パッケージ、DFB：Distributed Feedback、PD：Photodiode

図1-三菱電機の情報通信用高周波・光デバイスの適用分野



HBT：Heterojunction Bipolar Transistor

図2-5G携帯電話機と基地局の電力増幅器

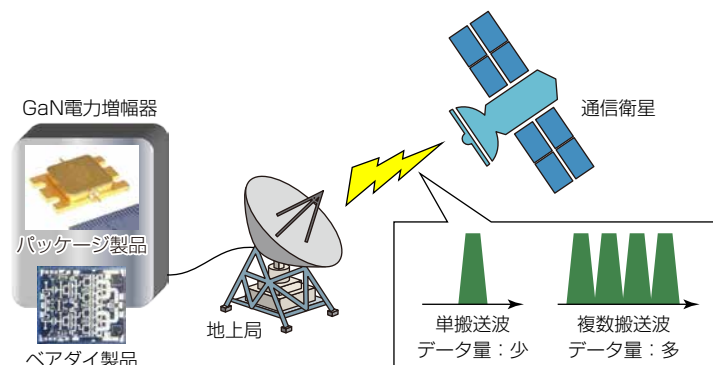


図3-衛星通信用地上局の電力増幅器

携帯電話基地局用電力増幅器にGaNデバイスが急速に適用され始めたのは比較的最近で、5Gの本格運用が契機と言える。5Gでは、従来の3GHz以下よりも高い周波数(3~7GHz)の利用が可能になった。これまで主役であったSi系電力増幅器よりもGaN電力増幅器の方がより高効率で増幅動作できるためである。一方、3.7V程度と低い標準バッテリー電圧の下で動作しなければならない携帯電話機用電力増幅器では、第3世代移動通信システム(3G)時代から、負のバイアス電圧を必要としないGaAs HBTが、今なお、電力増幅器の主役座を維持している(図2)。

ここでは、今後も高周波用化合物半導体デバイスとして活躍が期待されるGaN電力増幅器に対する要求特性と、デバイスの将来展望を述べる。

2.2 GaN電力増幅器に対する要求性能

電力増幅器は、無線システムでアンテナに近傍に配置され、所望の出力電力レベルまで信号増幅を行う。通常、その消費電力は、無線システム内で最も大きい。そのため、無線システム用電力増幅器には、システムの消費電力低減のために高効率動作が常に要求される。通信用途の場合は、高効率動作に加えて低歪(ひず)み動作との両立が要求される。

5G基地局では、図2に示すようにアンテナ素子が複数個配置されたアレーアンテナを用いて、各ユーザー端末に向けて電波を効率的に照射する空間分割多重技術が使用されている。電力増幅器はアンテナ素子ごとに1個配置される。このアンテナの採用によって、広帯域な変調信号(図2)を複数のユーザー端末に効率的に伝送可能になり、理論上10~20Gbpsの高速データ通信が可能である。

衛星通信用地上局でも、携帯電話基地局同様に、複数の搬送波の同時利用を可能にする広帯域化の要求が電力増幅器に対して高まっている(図3)。

図4は、電力増幅器の非線形性によって生じる歪みが信号に及ぼす影響例を示している。一つは自身のチャンネル信号の歪みと、もう一つは隣接チャンネルへの電力漏洩(ろうえい)である。前者は自身のチャンネル信号を受信した際のデータの誤り率を増加させ、後者は隣接する他のユーザーのデータの誤り率を増加させるため、共に所定の規格値内に歪みを抑制する必要がある。この歪みの影響を抑制するために、電力増幅器自身の線形性を保つ設計を施すだけでなく、デジタル信号処理を用いた歪みの抑制をシステム的に行う場合もある。

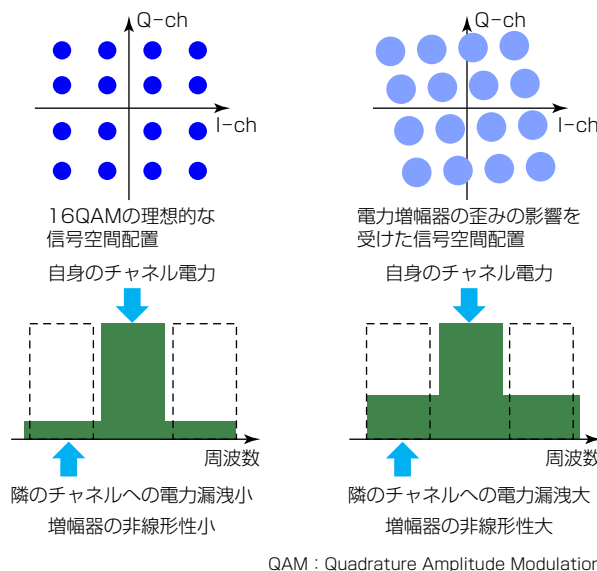


図4-無線通信システムでの歪みの影響例

2.3 将来展望

GaNデバイスは実用化が進みつつあるとはいえ、まだ結晶欠陥の多さなどの観点からGaAsデバイスに比べてデバイス技術の成熟には至っていない。そのため今後も結晶成長などの基盤技術の改良が重要である。また、電力増幅器用GaNデバイスの現在の技術課題としては、出力電力の高密度化、高効率動作化、高周波動作化が挙げられる。出力電力の更な

る高密度化はデバイスの温度上昇を伴うため、高放熱技術の一つであるGaN on Diamond等の新構造が検討されている。さらに超高周波の利用を目指す第6世代移動通信システム(6G)では、40~140GHzのミリ波帯に加えて、300GHzといったTHz帯の利用が検討されている。そのため、短ゲート長化などの研究も活発に進められている。GaNデバイスは、今後も性能向上が見込まれ、情報通信インフラのキーデバイスとしての貢献が期待される。

3. 光通信デバイス

3.1 市場・技術動向

スマートフォン等の移動端末の普及と動画配信やSNS等のクラウドサービスの急拡大に伴って、演算機器やストレージ機器を収容するデータセンターの大規模化が進んでいる。最近では、生成AIの社会的又は産業的な利用が急拡大する中、データセンター内に収容されるAI/ML用サーバーでは並列演算処理を行うGPU(Graphics Processing Unit)間の相互接続のために、サーバーとラック間やGPUボード間の接続にも光ファイバー通信の技術が使用されるようになり、同用途での光トランシーバーの市場拡大と高速化が急速に進んでいる。

また、データセンターの大規模化に伴って、10kmから数百km離れたデータセンター間をつなぐ光通信ネットワークの大容量化も必要になるため、従来は主に数百kmを超える長距離通信に使用されていた、光の強度に加えて位相や偏波にも情報を乗せるデジタルコヒーレント方式の適用範囲が拡大している。

それに加えて、AI/MLサーバーが機械学習を行うためには大量の情報を収集する必要があるため、ブロードバンドサービスの大容量化も必要になる。光ファイバーを使ったブロードバンドサービスの一つであるFTTH(Fiber To The Home)では、最高10Gbpsを実現するXG-PON(10-Gigabit-Capable Passive Optical Network)やXGS-PON(10-Gigabit-Capable Symmetric PON)の普及が進み、更なる大容量化を志向した最高50GbpsのHS-PON(Higher Speed PON)の標準化を踏まえて実用化に向けた開発が進められている。また携帯電話等の移動端末の通信に利用される移動通信ネットワークでは、5Gの普及とポスト5Gに向けて無線周波数帯の拡張が必要になるため、無線アンテナと移動通信基地局を結ぶ光通信ネットワークも25Gbpsから50~100Gbpsへの高帯域化が必要になる。

光通信ネットワークを構成する光トランシーバーには、電気信号と光信号を相互に変換するⅢ-V族の元素を組み合わせた化合物半導体のレーザーダイオードとフォトダイオードの光デバイスが主として搭載される。現在、データセンター内通信に使用される光トランシーバーは、動作速度100Gbpsの光デバイスが主流であるが、間もなく動作速度200Gbpsの送受信デバイスを搭載した光トランシーバーの導入が始まり、その先を見据えたbeyond 200Gbps(すなわち400Gbps)時代に適用される光デバイスの開発も進められている。

また、大規模なデータセンターで使用される伝送システムでは、多くの光トランシーバーを収容するため、空調含む全体の消費電力低減が大きな課題になっている。データセンター内通信用の光トランシーバーでは、デジタル信号処理用プロセッサの消費電力低減と光デバイスの動作温度範囲拡大が並行して進められている。また、光導波路や光変調器を集積化したシリコン基板に化合物半導体のレーザーを結合させた集積デバイス(シリコンフォトニクス)が市場投入されている。これまで、化合物半導体を用いた光デバイスと比較して、シリコンフォトニクスは動作速度や導波路損失の点で不利とされてきたが、性能改善によって数百mまでの短距離通信用途では動作速度200Gbpsのデバイスが実用化されつつある。

データセンター間をつなぐデジタルコヒーレント方式の通信には、従来の長距離伝送に使用されていた伝送装置(トランスポンダー)を経由することなく、ルーター同士が直接接続するIP(Internet Protocol) over DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)が普及している。この用途では、400Gbps(変調速度64Gbaud)以下の通信速度から800Gbps・1.6Tbps(変調速度128Gbaud)への移行が進む見通しであるが、そこに適用される光デバイスには、高速化と同時に小型の光トランシーバーに実装するための低消費電力化と小型集積化が求められる。

FTTHや移動通信システムに用いられる光デバイスに関しては、屋外に設置されることを想定して湿度と幅広い温度範囲に対応した気密封止パッケージに収納され、とりわけ製造コストが低いCAN型パッケージに組み込まれることが一般的である。システムの高速化に対応するためには、チップの高速化だけでなくパッケージの高帯域化も必要であり、既に50~100Gbpsの実用化にも目途が立っている。これら光通信ネットワークの概念図を図5に示す。

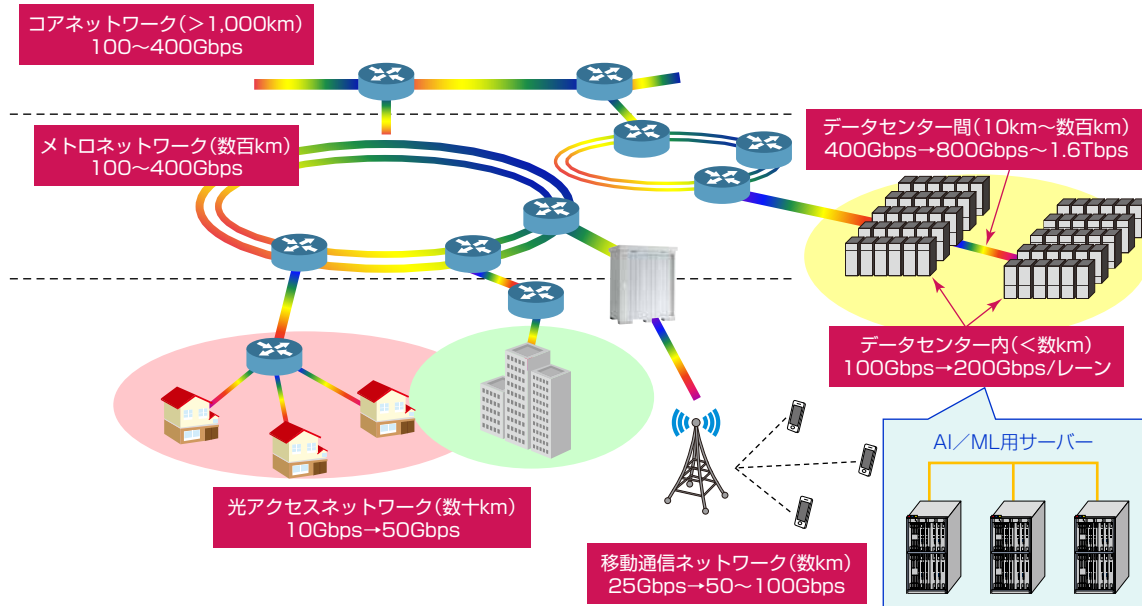


図5-光通信ネットワーク概念図

3.2 将来展望

3.1節に述べたとおり、AI/ML用サーバー及びそれを収容するデータセンターの大規模化に伴う消費電力の増加が課題になっているが、信号が更に高速化されると、IT機器内の電気信号線路のエネルギー損失も無視できなくなる。この抑制には、エネルギー損失の大きい電気信号線路を光配線へ置き換えることが有効である。また、GPUの速度向上に追従した帯域密度(単位長さ当たりの信号速度)の向上も必要になる。したがって、今後は低消費電力動作と高密度実装性の両方を兼ね備えた次世代光デバイスが必要になる。

シリコンフォトニクスは、大口径ウエハーを用いることによるスケールメリットと光電変換素子を除く機能の集積性の点では優位ではあるが、今後の更なる高速化への対応には物性的な限界に到達することが予想される。一方、化合物半導体は優位な材料物性を活用した更なる性能向上が可能であり、デジタルコヒーレント方式を含む今後の更なる高速化にも最適な選択肢であると考えられる。今後、シリコン材料による低コスト集積性と化合物材料による高効率発光及び高速動作の利点を組み合わせた光電融合デバイスの技術進展が期待される。

4. 赤外線センサー

4.1 市場・技術動向

波長380nm(青)~780nm(赤)の可視光よりも波長の長い領域の光を赤外線と呼び、中でも8~14μmの赤外線は、遠赤外線又はLWIR(Long-Wavelength InfraRed)と呼ばれている。遠赤外線を測定し画像化したイメージの特長としては、被写体温度の判別が可能であることはもちろん、暗視が可能であること、可視波長の外乱光の影響を受けにくいこと、煙、霧など波長より小さい微粒子による散乱の影響を受けにくいことが挙げられる。

従来赤外線センサーは、主に監視装置に使われる高画素で高価なセンサーと、照明の自動点灯、自動ドア、空調などに使われる低画素で低価格なセンサーの2極に分かれていた。

近年は、赤外線カメラに使用されていた高画素センサーの低画素化や、従来熱検知に使用されていたセンサーの高画素化によって高度な空調、防犯、見守り、人数カウントといった用途に加えてキッチンや工場の設備監視など市場成長が継続している。

4.2 赤外線センサーMeiDIRの特長

当社では1980年代から赤外線センサーの技術開発を行い、独自方式のサーマルダイオード赤外線センサー技術を開発

し、高画素、高分解能な赤外線センサーに適用してきた。

サーマルダイオード赤外線センサー技術は、ボロメーター方式のセンサーと比べて低コスト化が容易で、焦電センサーやサーモパイル方式のセンサーと比べて高画素化が可能でかつ高性能、という特長がある。

このような特長を生かして、2019年、一般民生用向けに小型・低価格赤外線センサーモジュール“MeiDIR(メルダー)”シリーズの最初の製品としてMIR8032B1を発売した。80×32の高画素と高い温度分解能(100mK)によって、当社ルームエアコン“霧ヶ峰”の“ムーブアイmirA.I.+ (ミライプラス)”などに採用された。

2022年に、“より広い範囲で高精度に人・物の識別や行動把握を行いたい”というユーザーの要望に対応して、画素数(80×60)を約2倍にしたMIR8060B1を開発し、AIを活用した見守り等に活用されている。

2023年には、MIR8060B1と同じセンサーサイズと画角のまま、200℃以上の温度まで検知可能にしたMIR8060B3を開発した。

2025年、更に広い範囲を検知したいという要望に対応して、画角を100°×73°に広げた新製品MIR8060C1を開発した。MIR8060C1は、熱画像を不明瞭にする不要な光の入射成分を抑制しつつ、既存品の2倍以上の検知面器を実現する新開発のレンズを採用している。1台でも広範囲のモニタリングが可能になり、広い範囲を見守り際の設置効率が大幅に改善する。

これらMeiDIRシリーズの外観と主要諸元を図6に示す。また、MIR8060B1とMIR8060C1のモニタリング状況の比較を図7に示す。



形名	MIR8060C1	MIR8060B3	MIR8060B1	MIR8032B1
画角	100°×73°	78°×53°		78°×29°
画素数	80×60	80×60		80×32
フレームレート	4/8fps	4/8fps		4fps
検知可能温度	-5~+60(℃)	-5~+200(℃)	-5~+60(℃)	
温度分解能	180mK	250mK	100mK	
モジュールサイズ	19.5×13.5×9.7(mm)		19.5×13.5×9.5(mm)	

図6-MeiDIRシリーズの外観と主要諸元

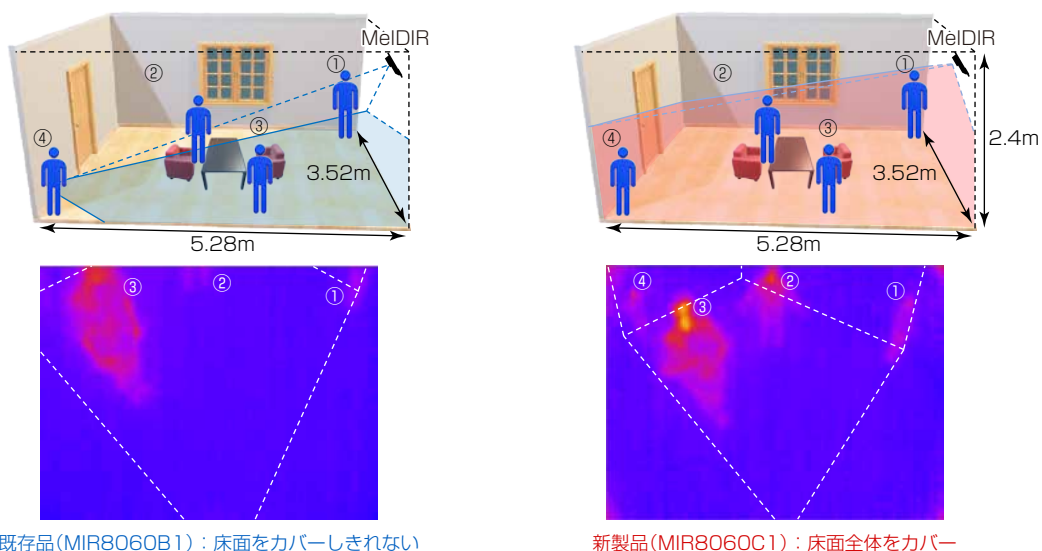


図7-MIR8060B1とMIR8060C1の比較

4.3 将来展望

近年AI技術の進化によって急速にクラウドAIの利用が一般化し、センサー情報をクラウドに収集してAI処理を行うシステムが急速に発達している。同時にセンサーデバイス上で直接データ処理を行う低遅延なエッジAIもリアルタイム性

が要求される自動運転車やスマートホームデバイスなどでの利用が進んでいる。

赤外線センサーは被写体の熱分布を画像化できるため、人体のような熱がある被写体に対して、可視カメラなどでは取得できない情報を直接得ることができる。そのため熱を持った被写体に対して、少ない情報量でAI認識が可能で、末端のシステム上で処理を行うエッジAIとの親和性が高い。

MelDIRはAIとの親和性の高さを生かして、AIを適用した空調や見守りシステムのためのセンサーとして採用されてきた。同時により広範な顧客にMelDIRを使用したAIを利用できるよう、汎用マイコンを搭載したデモキットにYOLO (You Only Look Once)をベースにMelDIR用に最適化した検知アルゴリズムを開発してきた。検知モデルは、リビングのような一般環境で複数の人間の存在を検知する学習モデルや、トイレのような行動様式が決まった環境で正常な姿勢と異常な姿勢を検知する学習モデルであり(図8)、学習モデルを準備しなくてもAI検知できる。

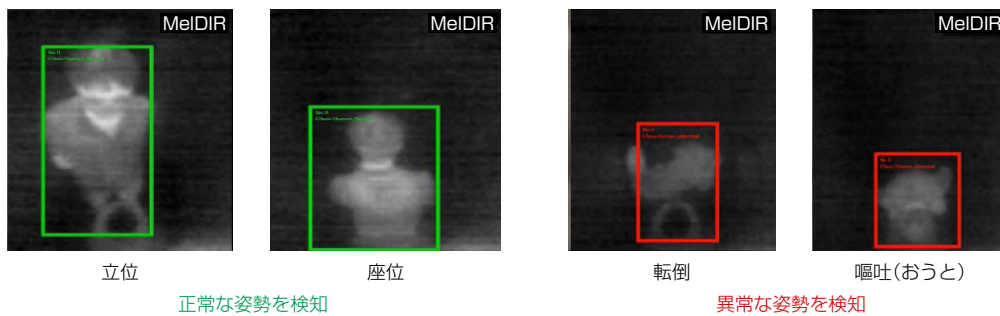


図8-MelDIRとデモキットによるAI検知例

このように“MelDIR”ラインアップの拡充とともにAIの活用を行い、より広い範囲の社会課題の解決に貢献している。

5. む す び

あらゆる環境の把握、すなわち情報を担う赤外線センサーとその状況を高速に伝える高周波デバイス、光デバイスの最新動向及び将来展望について述べた。これらのデバイスは社会活動をより便利にし、持続可能な社会に不可欠なキーデバイスと考える。当社は、今後も時代に即した先進的なデバイスを提供し続けることで、活力ある社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 増田健之：高周波・光デバイスの最新動向と将来展望，三菱電機技報，97，No.3，130～134（2023）

5G基地局用16W GaN電力増幅器 モジュール

本田 慧*
Satoru Honda
寺西 絵理*
Eri Teranishi
嘉藤 勝也*
Katsuya Kato

*高周波光デバイス製作所

16W GaN Power Amplifier Module for 5G Massive MIMO Base - stations

要 旨

現在、第5世代移動通信システム(5G)向けにmassive MIMO(Multiple Input Multiple Output, 以下“mMIMO”という。)型の携帯電話基地局が都市部を中心に設置が進められているが、その電力増幅器の平均出力電力は8~10Wが主流である。一方、製造コスト削減や通信距離の伸長のために、より高い平均出力電力である16W級の電力増幅器のニーズも高まりつつある。今回、平均出力電力8WのGaN(窒化ガリウム)電力増幅器モジュールの既製品に加えて新たに開発した、平均出力電力16Wの電力増幅器モジュールの設計・試作の結果、3.3~3.8GHz、出力16Wで、効率40.6~44.4%、電力利得28.1~29.7dB、歪(ひずみ)補償適用時の隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力比-48dBc以下という5G mMIMO基地局に適用可能な良好な特性を示した。

1. ま え が き

高速かつ大容量の通信を特長とする5Gでは、mMIMO型の携帯電話基地局の設置が都市部を中心に進められている。mMIMO基地局には多素子アンテナを用いるため、送信信号を増幅する多数の電力増幅器の搭載が必要であることから、低消費電力化や製造コスト低減の実現に向けて、電力増幅器の高効率化やモジュール化が強く求められている。mMIMO型基地局の代表例は、送信機64個、受信機64個を搭載した64T64R型や、送信機32個、受信機32個を搭載した32T32R型の基地局で、送信機に用いられる電力増幅器の平均出力電力は8~10Wが主流である⁽¹⁾⁽²⁾。このmMIMO型基地局は、多数の端末に対して空間分割多重による高速データ通信を実現できることが特長であるが、多数の送信機及び受信機を搭載するため、製造コストの削減が課題の一つである。そこで、平均出力がより高い16W級の電力増幅器の要求が高まりつつある⁽³⁾。16W級電力増幅器を用いれば、8W級の電力増幅器を用いて構成される5G基地局の総アンテナ出力電力を維持したまま、送信機数を半減でき、製造コスト削減に寄与できる。

今回、平均出力電力8WのGaN電力増幅器モジュールの既製品⁽⁴⁾⁽⁵⁾に加えて新たに開発した平均出力電力16Wの電力増幅器モジュールの設計・試作結果について述べる。

2. GaN電力増幅器モジュールの回路設計

開発したGaN電力増幅器モジュールの等価回路図を図1に示す。このモジュールは2段のドハティ型の電力増幅器で、高利得化を達成するために主増幅器側と補助増幅器側のそれぞれにドライバ段を設けたデュアルドライバ構成にしている。

一般的なドハティ増幅器で、主増幅器と補助増幅器のゲート幅比が1:1の対称ドハティ構成の場合、理論的には6dBバックオフ時に効率が高くなる。設計に当たっては5Gで用いる変調信号のピーク対平均電力比(PAPR: Peak to Average Power Ratio)である8.5dBバックオフ時の効率を高くすることを目的として、主増幅器終段トランジスターのゲート幅に対して、補助増幅器終段トランジスターのゲート幅を大きくした非対称ドハティ構成を採用し、そのゲート幅比である主増幅器:補助増幅器を1:1.7とした。この比は非対称度と呼ばれ、本稿では主増幅器:補助増幅器を1:aと表したときのaを非対称度と呼ぶ。

次に、高効率化のポイントになるドハティ増幅器の出力整合回路設計について述べる。今回の増幅器では、参考文献(5)に述べられている設計手法を用いて同じ回路構成を採用した。図2(a)に電力増幅器モジュールの出力回路図を、図2(b)に損失計算用の簡易出力回路図を示す。主増幅器終段と電力合成点の間は伝送線路で、補助増幅器終段と電力合成点の間は伝送線路と表面実装部品で、それぞれ構成されるT形回路を配置している。この回路図では、主増幅器終段と補助増幅

器終段のトランジスタは理想電流源で表して、トランジスタに存在する寄生ソース・ドレイン容量をそれぞれ $C_{ds,m}$, $C_{ds,a}$ で表す。また理想電流源での飽和出力時の最適負荷をそれぞれ $R_{opt,m}$, $R_{opt,a}$ とする。この回路構成の特長は、非対称度 a に対して、合成点から出力側を見たインピーダンスが $\gamma \cdot (R_{opt,m} // R_{opt,a}) = \gamma \cdot R_{opt,m} / (1 + a)$ と、電力合成点でのインピーダンスを γ 倍高く設定できることである。ここで、 γ は1以上の任意の値である。ドハティ増幅器の出力が大きくなれば $R_{opt,m}$ は小さくなり、また、バックオフ量が大きくなると a が大きくなるので、出力電力16W、バックオフ量8.5dBに対して、 γ が1.0での合成点のインピーダンスは10Ω以下になる。一方で、バックオフ時の主増幅器終段の電流源端から見たインピーダンスは $R_{opt,m} / (1 + \gamma)$ で、バックオフ量の増大に伴い大きくなる。つまり、今回の電力増幅器モジュール設計では、主増幅器終段の電流源端の負荷インピーダンスから合成点インピーダンスへの変成比及び合成点からモジュールの出力端子の負荷(50Ω)までのインピーダンス変成比が増大するため、変成損失は増大する。したがって、 γ を1以上の任意の値に設定し、合成点でのインピーダンスを高くすることで、従来の設計方法($\gamma = 1$)と比較して低損失で広帯域な設計が可能になる。図2(b)の簡易出力回路図を用いて γ に対する出力整合回路損失の計算を実施し、図3に γ が1.0, 1.8, 2.6, 3.4の4条件に対する計算結果を示す。図3に示すとおり、 γ を1.0から大きくすることで損失を広帯域に抑制できることが分かる。開発目標とした動作周波数帯域である3.3~3.8GHzに注目すると、 γ が2.6のときに低損失で広帯域な回路になるため、この増幅器モジュールの出力回路設計は γ を2.6として行った。

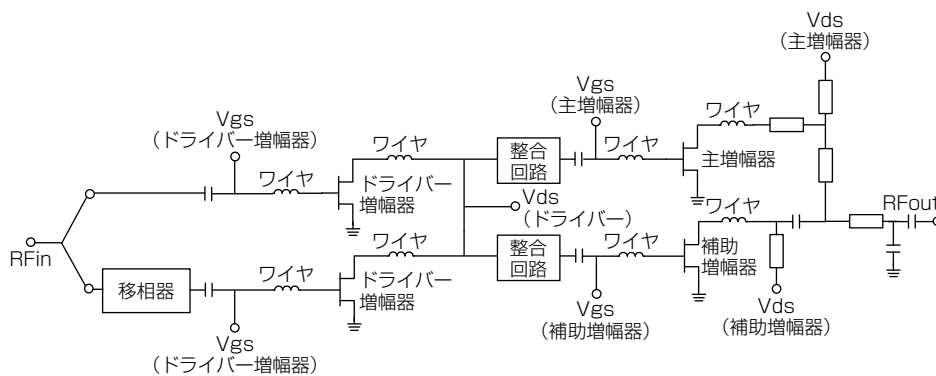


図1-GaN電力増幅器モジュールの等価回路図

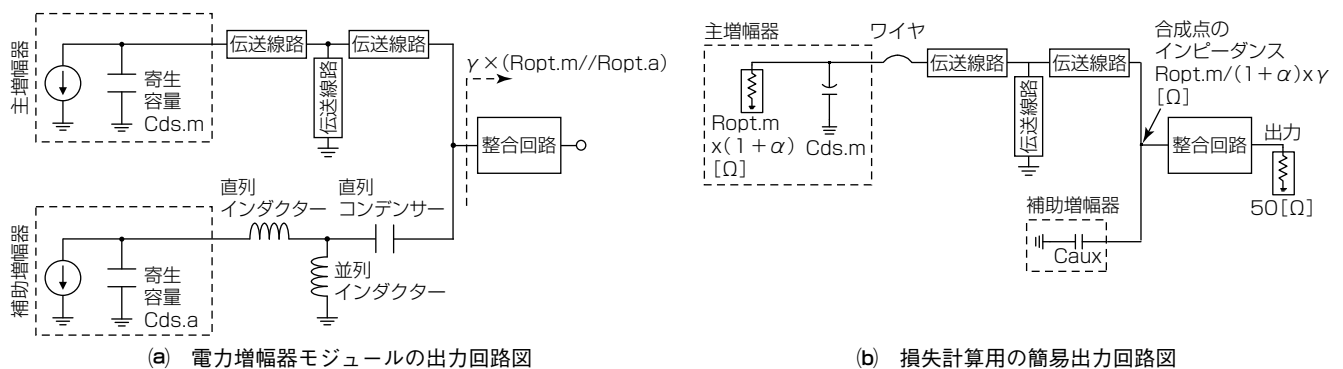


図2-電力増幅器モジュールの出力回路図と損失計算用の簡易出力回路図

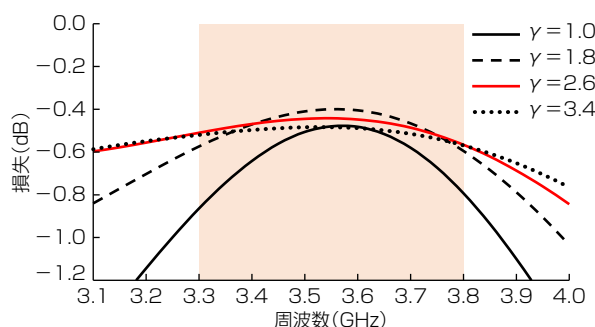


図3- γ に対する出力整合回路損失の簡易計算結果

3. 試作したGaN電力増幅器モジュール

図4に、開発したGaN電力増幅器モジュールの写真を示す。モジュールは多層基板上に実装されたGaN HEMT(High Electron Mobility Transistor)及び表面実装部品(SMD)で構成されている。電力分配回路, 移相器, 整合回路は, 小型化のためにSMDを用いた集中定数で構成され, 出力回路のRF(Radio Frequency)配線は多層基板の表層に形成しており, モジュール全体を樹脂封止している。モジュールサイズは11.5×8.0(mm)で, 評価基板上に実装している。

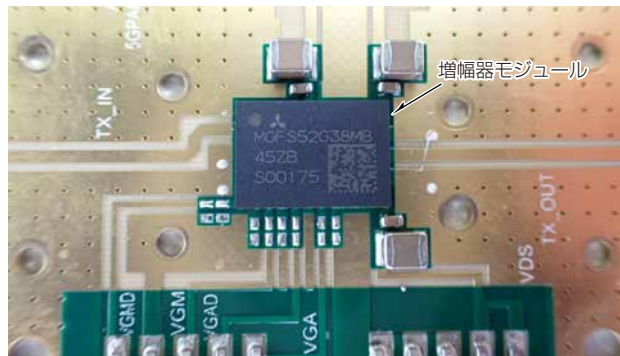


図4-開発したGaN電力増幅器モジュール

4. 評価結果

試作した電力増幅器モジュールの測定結果について述べる。各トランジスターに印加するドレイン電圧は46Vで, 主増幅器側の終段とドライバー段はAB級に, 補助増幅器側の終段とドライバー段はC級にバイアスしている。

まず, 無変調信号を用いた測定結果について述べる。図5に無変調信号を用いた入出力測定結果として, PAE(Power Added Efficiency)とGainの特性を示す。この測定で, 無変調信号とゲート電圧はDutyが10%のパルス駆動している。3.3~3.8GHzで, 42dBm出力時のPAEは41%と, 高い効率を得ている。またGainの特性で, 補助増幅器側の起動に伴って生じる凹(くぼ)みは1 dB以下に抑制しており, 良好な線形性を得ていることが分かる。

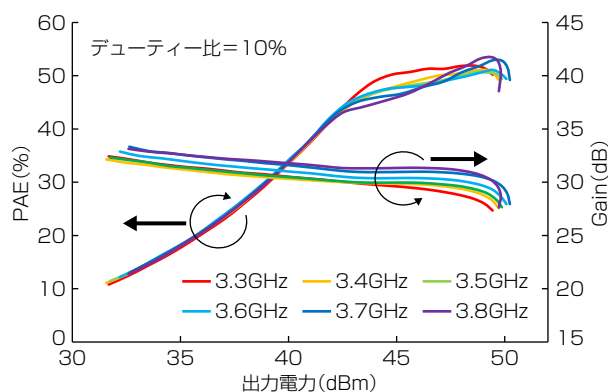


図5-無変調信号を用いた入出力測定結果 (PAE, Gain)

次に, 図6に変調信号を用いた測定結果を示す。図6(a)には, 変調帯域幅20MHzのLTE(Long Term Evolution)信号を使用したPAEとGainの測定結果を示す。また図6(b)には, 変調帯域幅20MHzのLTE-FDD(Frequency Division Duplex)と変調帯域幅100MHzの5G NR(New Radio)-TDD(Time Division Duplex)のそれぞれの信号条件下での, デジタル歪み補償(DPD: Digital Pre-Distortion)の適用前後でのACLR(Adjacent Channel Leakage Ratio)測定結果を示す。これらの測定に使用した変調信号のPAPRは全て8.5dBであり, 平均出力電力が16W(42dBm)時の測定結果である。図6(a)から, 帯域内のPAEは40.6~44.4%でGainは28.1~29.7dBと, 比較的良好な特性を得ている。また図6(b)か

ら、DPDの適用によって変調帯域幅20MHzのLTE-FDD信号では-50dBc以下、変調帯域幅100MHzの5G NR-TDD信号では-48dBc以下にACLRが抑制されている。図7に中心周波数が3.55GHzで変調帯域幅100MHzの5G NR-TDDの変調信号を用いた出力電力スペクトラムを示す。その他の信号条件は図6と同一で、平均出力電力が16W(42dBm)時でのDPD適用前後でのスペクトラムを示している。DPDの適用によって、ACLRが大幅に改善できていることが確認でき、今回試作した電力増幅器モジュールが基地局への搭載に適した特性を持つことが分かる。

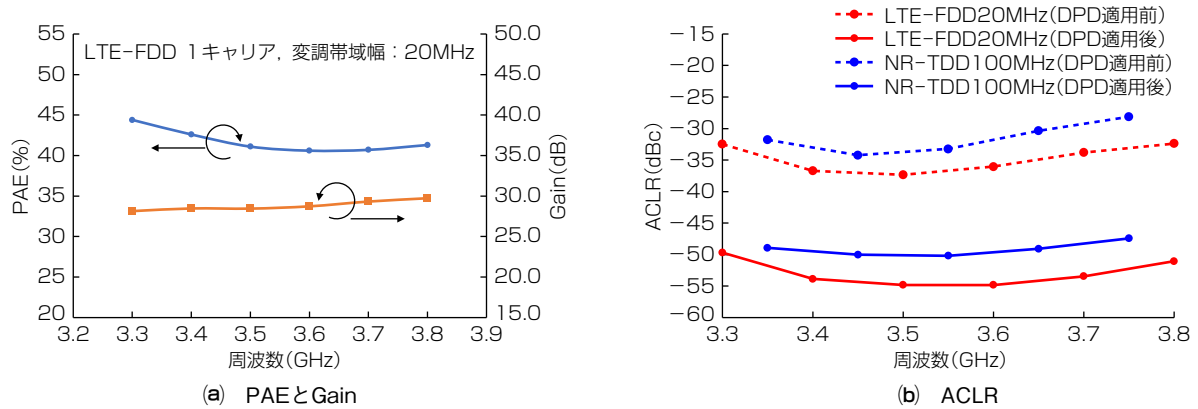


図6-変調信号を用いた測定結果

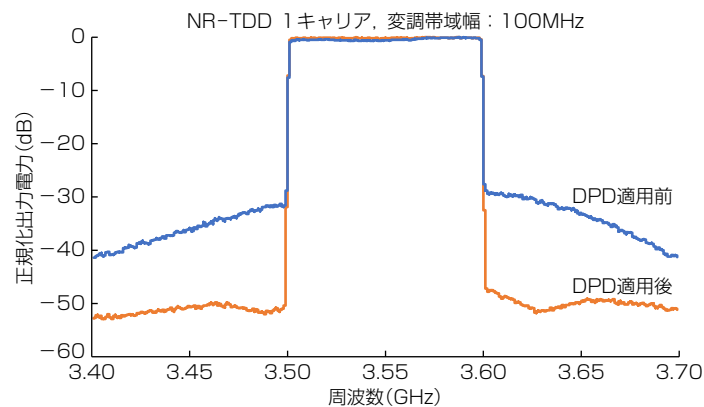


図7-変調帯域幅100MHzの5G NR-TDDの変調信号を用いた出力電力スペクトラム

5. む す び

5G mMIMO基地局向けに設計・試作した出力電力16W級GaN電力増幅器モジュールの設計・試作結果について述べた。出力合成点のインピーダンスを任意に設定できるドハティ増幅器で、出力整合回路損失と出力回路のインピーダンス変成比の最適化手法を示した。この手法を用いて設計・試作した電力増幅器モジュールは、mMIMO基地局への搭載に適した良好な特性を持つことを示した。

参 考 文 献

- (1) Ladhani, H., et al. : A compact, 42% PAE, two-stage, LD MOS Doherty PA Module for Massive MIMO applications, 2019 IEEE MTT-S International Microwave Conference on Hardware and Systems for 5G and Beyond (2019)
- (2) Maroldt, S., et al. : 3.5-GHz ultra-compact GaN class-E integrated Doherty MMIC PA for 5G massive-MIMO base station applications, 2017 12th European Microwave Integrated Circuits Conference, 196~199 (2017)
- (3) Cavarroc, M., et al. : Compact 40% Fractional Bandwidth Doherty PA With Input Group Delay Engineering, IEEE Microwave and Wireless Technology Letters, **33**, No.6, 851~854 (2023)
- (4) Sakata, S., et al. : A Fully-Integrated GaN Doherty Power Amplifier Module with a Compact Frequency-Dependent Compensation Circuit for 5G massive MIMO Base Stations, 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, 711~714 (2020)
- (5) Sakata, S., et al. : A 3.4-4.1GHz Broadband GaN Doherty Power Amplifier Module for 5G massive MIMO Base-Stations, 2022 Asia-Pacific Microwave Conference, 500~502 (2022)

データセンター向け800Gbps／1.6Tbps 伝送用200Gbps EML&PD

奥田真也*
Shinya Okuda
竹村亮太*
Ryota Takemura
外間洋平*
Yohei Hokama

内山麻美*
Asami Uchiyama
藤原諒太*
Ryota Fujihara
坪内大樹*
Daiki Tsubouchi

*高周波光デバイス製作所

200Gbps EML Chip and PD Chip for 800Gbps/1.6Tbps Transmission for Data Center

要旨

クラウドサービスの拡大が進む現代で、データセンター内のサーバー間を接続する光ファイバー通信は、光通信ネットワークの中でも特に高速化が進展しており、光デバイスの超高速化を牽引(けんいん)している。データセンターでは現在400Gbps通信が主流だが、更なる高速化の要求に対応するため、次世代800Gbps／1.6Tbps通信の標準化が議論されている。今回、800Gbps／1.6Tbps通信に対応する、1波長当たり200Gbpsで動作する超高速EML(Electro-absorption Modulator integrated Laser)、PD(Photodiode)を開発した。三菱電機独自のハイブリッド導波路構造、裏面レンズ構造の採用、設計パラメーターの最適化によって200Gbpsの超高速変調を可能にして、データセンターの高速大容量化に貢献する。

1. ま え が き

クラウドサービスの拡大が進む現代で、データセンター内のサーバー間を接続する光ファイバー通信は、光通信ネットワークの中でも特に高速化が進展しており、光デバイスの超高速化を牽引している。現在、データセンターでは400Gbps通信が主流になっており、当社はこれまでに1波長当たり100Gbpsで動作するEMLを開発し、データセンターの高速化に貢献してきた⁽¹⁾。近年では、生成型人工知能の導入などによる通信の更なる高速化の要求に対応するため、次世代800Gbps／1.6Tbps通信の標準化の議論が進行中である⁽²⁾。

今回、データセンターの次世代800Gbps／1.6Tbps通信に対応する超高速光デバイスとして、送信側デバイスであるハイブリッド型導波路構造200Gbps EMLと、受信側デバイスである200Gbps裏面入射型PDを開発した。当社独自のハイブリッド型導波路構造、裏面レンズ構造を採用し、設計パラメーターを最適化することで200Gbpsの超高速変調を実現した。図1に、データセンター1.6Tbps通信への200Gbps EML、PDの適用例を示す。1本の光ファイバーで8波長の光信号を通信するWDM(Wavelength Division Multiplexing)通信を実現可能にして、光ファイバー数削減による省スペース

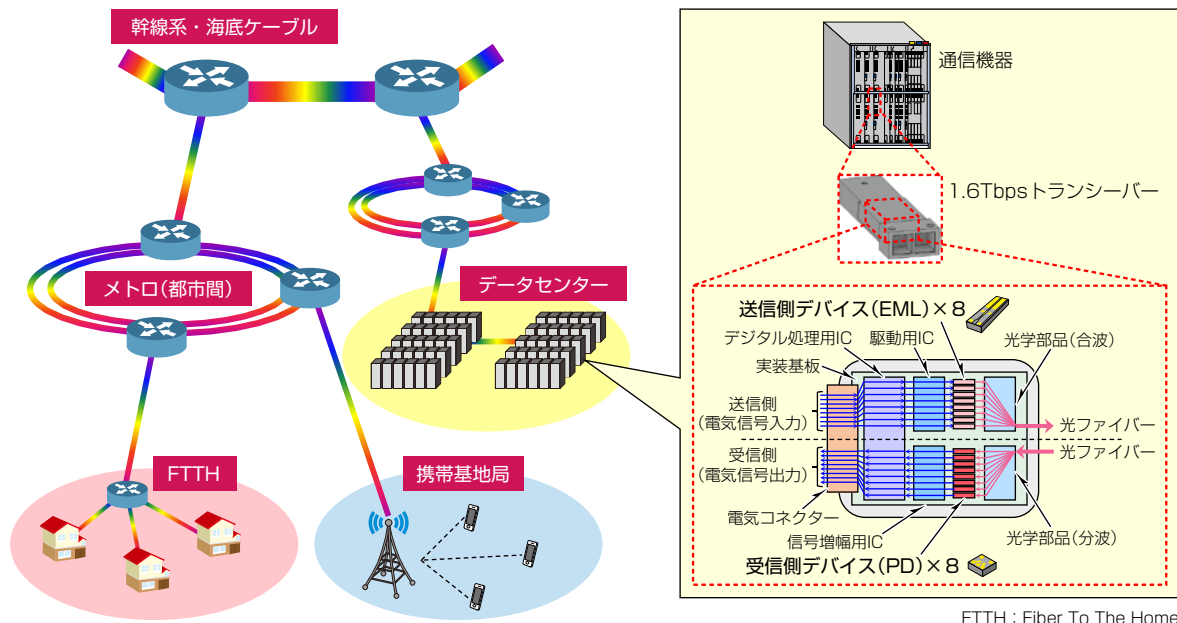


図1-光ファイバー通信網とデータセンター1.6Tbps通信への200Gbps EML, PDの適用例

ス化と低コスト化を可能にした。これらのデバイスは、次世代800Gbps/1.6Tbps通信用光デバイスとして、データセンターの高速大容量化に貢献し得るものである。

2. EMLチップ設計

2.1 チップ構造

図2にEMLチップの構造を示す。埋め込みヘテロ構造のDFB-LD(Distributed Feedback-Laser Diode) (図2(b))によって高光出力を実現し、ハイメサ型導波路構造のEA(Electro Absorption)変調器(図2(c))によって高消光比、高速動作を両立する。このEMLは、構造が異なるLDとEA変調器をInP(インジウムリン)基板上にモノリシック集積した当社独自のハイブリッド導波路構造⁽³⁾⁽⁴⁾になっている(図2(a))。また、EA変調器の先にSSC(Spot Size Converter)を集積することで、シングルモードファイバーとの高光結合効率を実現している。

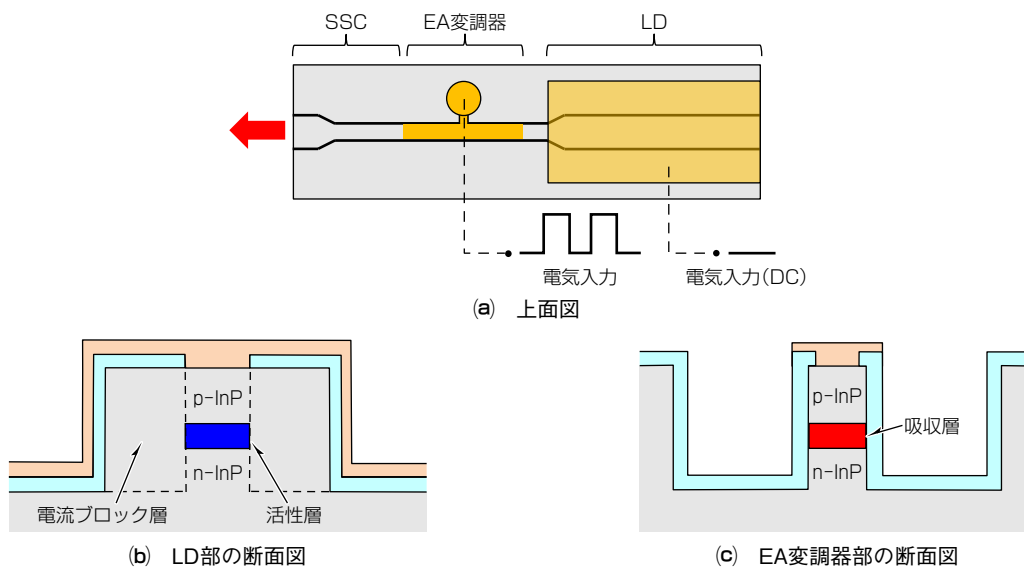


図2-EMLチップの構造図

2.2 EMLの周波数応答特性と消光比の両立設計

データセンター通信では、受信データのビットエラーを検出・修正するFEC(Forward Error Correction)が活用されている。FECによって伝送データに冗長ビットが追加されるため、200Gbps通信の実効的なビットレートは226.875Gbpsになる。また、単位時間当たり2ビットの情報を伝送するPAM4(Pulse Amplitude Modulation 4)方式が用いられるため、ボーレートはビットレートの半分の113.4375Gbaudになる。したがって、226.875Gbps伝送を実現するデバイスには、ボーレートの半分である約60GHzの周波数応答特性の3dBカットオフ周波数が必要になる。100Gbps EMLに必要な3dBカットオフ周波数35GHz⁽¹⁾に対して、応答速度を約2倍向上させる必要がある。60GHzという高いカットオフ周波数を実現するため、100Gbps EMLからEA変調器長を短くすることによって静電容量を低減する必要があるが、EA変調器を短くすると消光比が低下するトレードオフ関係がある。

このトレードオフを改善するため、EA変調器にハイメサ型導波路構造を採用した。リッジ型導波路構造や埋め込み型導波路構造と比較して、ハイメサ型導波路構造はEA吸収層に閉じ込められる光の割合を大きくでき⁽³⁾、短い変調器長でも高い消光比を得ることが可能である。さらに、EA変調器のMQW(Multi Quantum Well)の構造の最適化設計によって消光比を向上させた。図3に、100Gbps EMLと200Gbps EMLの3dBカットオフ周波数と消光比のシミュレーション結果を示す。EA変調器構造の最適化設計によって、3dBカットオフ周波数と消光比を両立する設計を実現した。

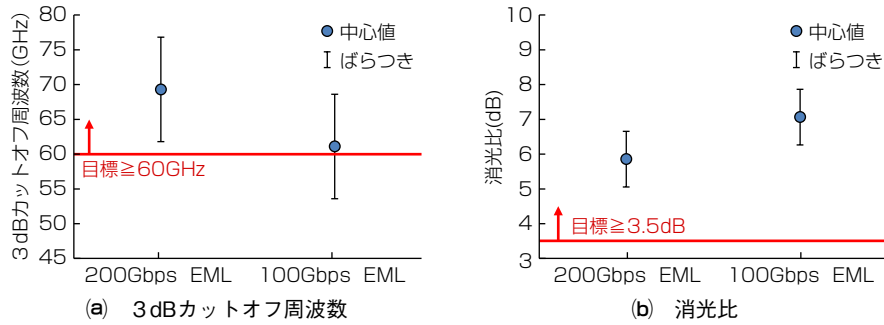


図3-100Gbps EMLと200Gbps EMLの周波数応答特性3dBカットオフ周波数と消光比のシミュレーション結果

3. EMLの評価結果

3.1 波長スペクトル特性

データセンター通信では、複数の波長の送信デバイスを用いてそれぞれの光信号を合波するWDM通信が採用されており、1.6Tbps通信ではCWDM8(Coarse Wavelength Division Multiplexing 8)波長の200Gbps光デバイスが必要になる。図4に示すとおり、1,271~1,341nm間で10nm間隔合計8波長の200Gbps EMLチップをラインアップした。1本の光ファイバーで8波長の光信号を通信するWDM通信を実現可能にして、光ファイバー数削減による省スペースと低コスト化を可能にする。

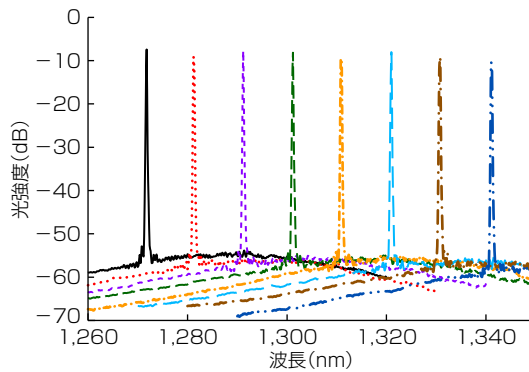


図4-CWDM8波長のEMLの発振波長スペクトル

3.2 周波数応答特性

図5に、開発したEMLチップの周波数応答特性(S21)を示す。EMLチップはサブマウントにジャンクションアップでダイボンドしてボンディングワイヤをつなぐ従来型のアセンブリ技術によって実装され、サブマウントに直接RF

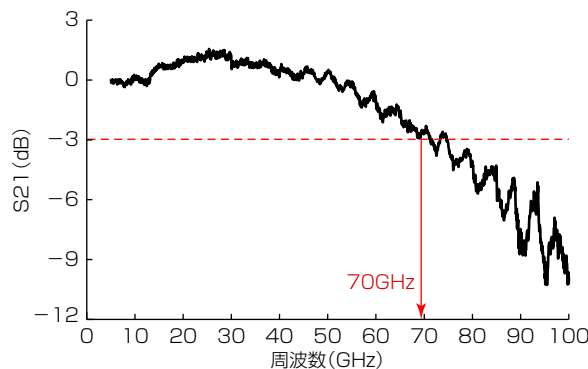


図5-EMLの周波数応答特性(S21)

(Radio Frequency)プローブをコンタクトして周波数応答特性を測定した。駆動条件は、チップ温度 $T_{LD} = 55^{\circ}\text{C}$ 、LD電流 $I_{op} = 100\text{mA}$ 、EA変調器のオフセットバイアス $V_{EA} = -2.0\text{V}$ である。3dBカットオフ周波数は約70GHzであり、目標仕様($\geq 60\text{GHz}$)を満足する特性が得られている。

3.3 光波形の評価結果

図6に、開発したCWDM8波長のEMLチップのBTB(Back To Back)のPAM4変調動作時の光波形を示す。EMLチップを実装したサブマウントに直接RFプローブをコンタクトしてPAM4特性を測定した。駆動条件は、ボーレート113.4375Gbaud、変調電圧振幅(V_{pp})約1.5V、チップ温度 $T_{LD} = 55^{\circ}\text{C}$ 、LD電流 $I_{op} = 100\text{mA}$ である。変調速度は226.875Gbpsになる。EA変調器のセンターバイアス V_c はそれぞれ図中で示したとおりである。示した波形は5 tapのTDECQ(Transmitter and Dispersion Eye Closure)リファレンスイコライザを適用したものである。全8波長で、明瞭な光波形が得られている。また、チップ端光出力でのOMA(Optical Modulation Amplitude)8.2~9.9dBm、Ex(Extinction-ratio)4.8~6.0dB、TDECQ1.3~2.5dBと目標仕様を満足する特性が得られている。

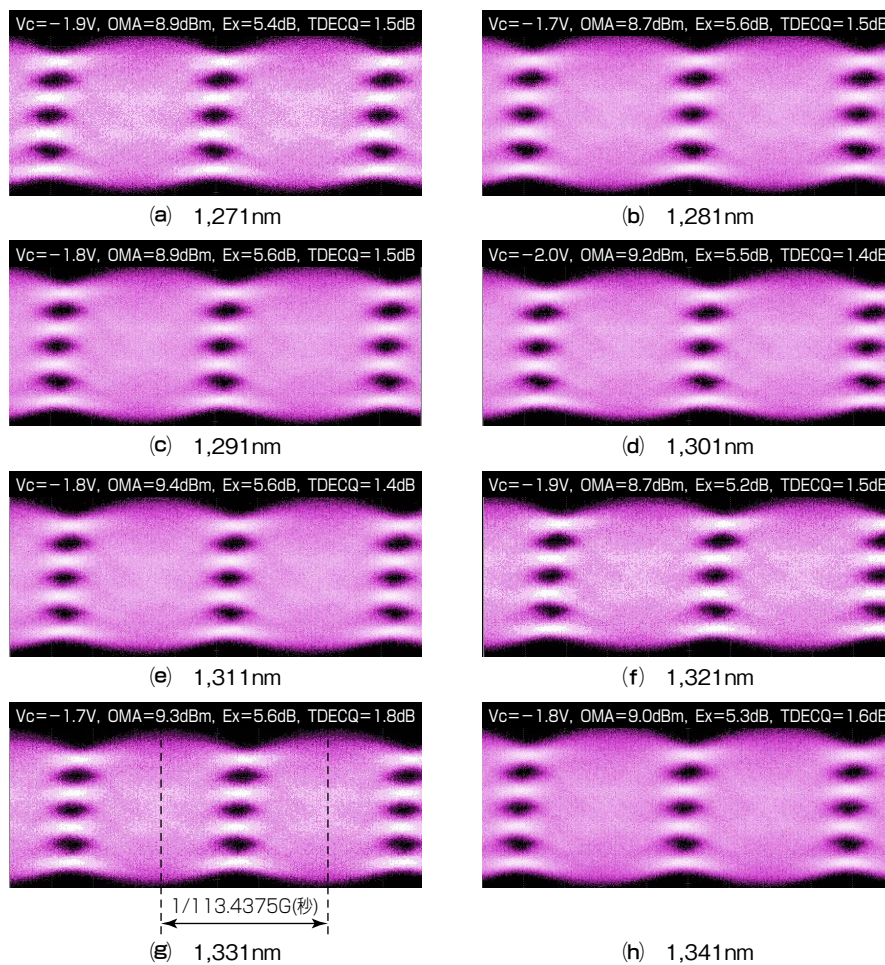


図6-226.875Gbps(113.4375Gbaud PAM4)変調動作時のEMLの光波形

表1に、開発したEMLの目標仕様及び評価結果を示す。開発したEMLは226.875Gbps変調を可能にする十分な特性を持っており、データセンターの次世代800Gbps/1.6Tbps通信に対応する超高速光デバイスを実現した。

表1-EMLの目標仕様及び評価結果

項目	目標仕様	評価結果
3dBカットオフ周波数	$\geq 60\text{GHz}$	60~76GHz
OMA: 光変調振幅	$\geq 6.4\text{dBm}$	8.2~9.9dBm
Ex: 変調時消光比	$\geq 3.5\text{dB}$	4.8~6.0dB
TDECQ	$\leq 3.4\text{dB}$	1.3~2.5dB

出典: IEEE P802.3dj⁽²⁾

4. PDチップ設計

200Gbps用PDへの特徴的な要求として複数レーン化対応がある。例えば1台のトランシーバーに4レーンを集積する場合、4個のPDそれぞれに対して必要な結合効率が得られるように光を入射する必要があるが、レーン数が増えるほど光軸調芯に時間とコストがかかる。光トランシーバー製造時の低コスト化のためには受光領域サイズが大きいことが望ましく、受光領域サイズが比較的小さい導波路型構造ではなく受光領域サイズ拡大が比較的容易な面入射型構造が好適である。しかし、面入射型構造で受光領域サイズを拡大することはpn接合サイズを拡大することと等価であり、素子容量増加につながる。この場合、RC時定数が大きくなり高速応答性が悪化することが知られている。例えば、レンズを集積していない一般的な裏面入射型構造(受光領域サイズφ15μm)の場合、50GHz以上の3dB帯域を得ることは困難である。また、広帯域化のために光吸収層を薄膜化した場合、感度は0.60A/Wに満たず、200Gbps用PDとして必要な仕様を満たせない。そのため、基板側から光を入射する裏面入射型PDの特性改善を図った。裏面入射型構造は、表面入射型構造とは異なりコンタクト電極部分でも光を受けられることができるため、同じ受光領域サイズの場合、pn接合径をより小さくし低容量化が可能になる。これによって広帯域化が実現できる。pn接合径縮小によって狭くなる受光領域サイズは、基板を凸レンズ状に加工し実効的な受光領域サイズを拡大することで補った。また、表面入射型構造では実現が難しい、高反射率の電極ミラー構造を採用することで高感度化も同時に実現を図った。

図7(a)に、開発した裏面入射型PDの断面構造を示す。半絶縁性Fe(鉄)ドーブInP基板上に、n型コンタクト層・n型InP層・アンドープInP層・光吸収層・アンドープInP層・p型コンタクト層を順にエピタキシャル成長している。光吸収層の厚さは、先に述べたとおり感度と帯域の両方に大きく影響するキーパラメーターであるため、広帯域と高感度を両立するために最適な厚さとしている。また、アンドープInP層は、実効的なキャリアの移動時間を増やさずに低容量化するために挿入しており、その厚さも広帯域化のために最適化している。

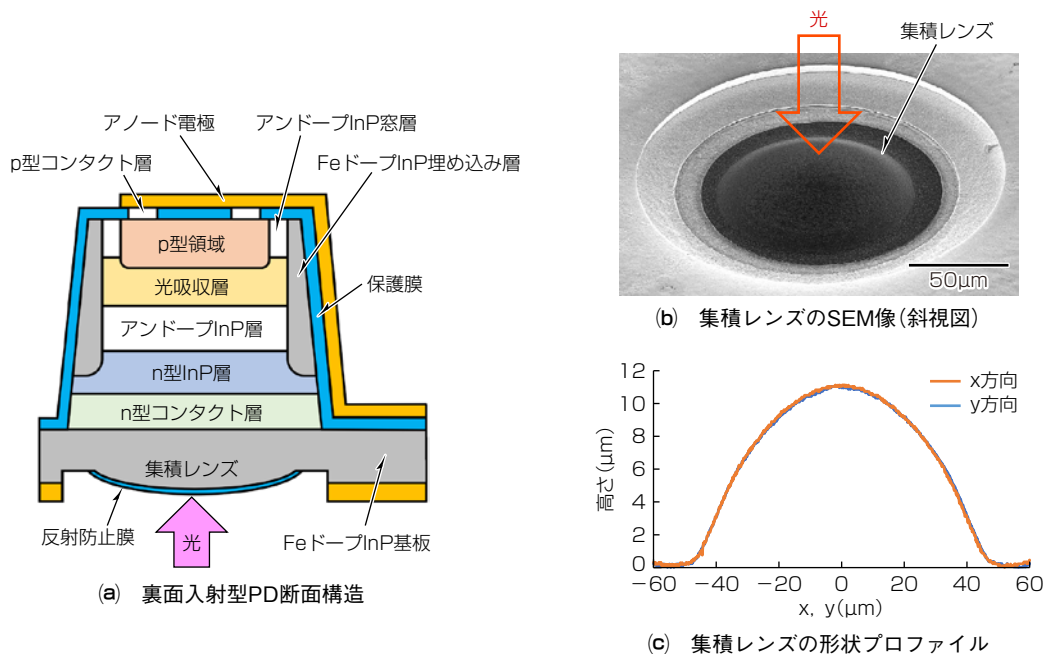


図7-裏面入射型PDチップの構造

受光部近傍以外の不要なエピタキシャル層はエッチング除去し、エッチング界面を保護するためにFeドーブInPを再成長し、半導体埋め込み構造を形成している⁽⁵⁾。アンドープInP層にp型領域を形成するため、Zn(亜鉛)を選択拡散しており、そのサイズは直径約10μmとした。この半導体埋め込み構造とZn選択拡散構造を採用することによって、界面準位の発生を抑制しpn接合側面を流れるリーク電流を低減することができるため、低暗電流化・高信頼性が期待できる⁽⁶⁾。また、この半導体埋め込み構造を採用することで、アノード電極とn型コンタクト層の間で発生する寄生容量を低減し広帯域化する効果も期待できる。p型コンタクト層に接続されているアノード電極はメタルミラー構造としても機能するよ

うに材料と厚さを選択している。基板側から入射し光吸収層を透過した光をメタルミラー構造で反射させ、再度光吸収層に戻すことで光吸収に寄与させている。これによって、光吸収効率を増加させ感度を向上させることができる。

基板側は、ドライエッチングとウェットエッチングを組み合わせることでFeドープInP基板を凸レンズ状に加工している。これによって、実効的な受光サイズを拡大できる。凸レンズの表面には反射防止膜を形成し、入射面での光の反射を防ぎ、反射戻り光低減と高感度化を実現している。図7(b)に、凸レンズ部のSEM(Scanning Electron Microscope)像(斜視図)を示す。また、図7(c)に、レンズ部の断面プロファイルを三次元顕微鏡で測定した実測値を示す。レンズに対しx方向・y方向のプロファイルを示しているがほぼ重なっており、方位依存性のない対称な凸レンズが形成されていることが確認できている⁽⁷⁾。

5. PDチップ評価結果

図8(a)に、開発した裏面入射型PDの電流電圧特性(暗状態)の測定結果を示す。室温で測定しており、5素子分の特性を重ねて示している。暗電流は、使用電圧2Vで約1pAと極めて低いことが確認できた。これは、半導体埋め込み構造とZn選択拡散構造による低暗電流化の効果が現れていることを示している。また、素子間の特性ばらつきも非常に小さいことが確認できている。

図8(b)に、暗電流の温度依存性を示す。暗電流は使用電圧2Vでの値である。温度の逆数と暗電流の関係での傾きが温度による活性化エネルギーを示しており、今回の測定結果からは約0.66eVと見積もられた。この値は、光吸収層に用いているInGaAs(ヒ化インジウムガリウム)のバンドギャップエネルギーとほぼ同じであり、この素子の暗電流はInGaAs光吸収層での拡散電流が支配的であることを示している。併せて、発生・再結合電流やリーク電流が小さいことを示しており、エピタキシャル層内の欠陥を介した暗電流や、接合側面の欠陥を介したリーク電流が少ないことを示唆する結果である。これも、Zn選択拡散・半導体埋め込み構造によるものと考えられ、暗電流の値自体が小さいだけでなく、欠陥が少なく信頼性の高い構造が得られていることが分かる。

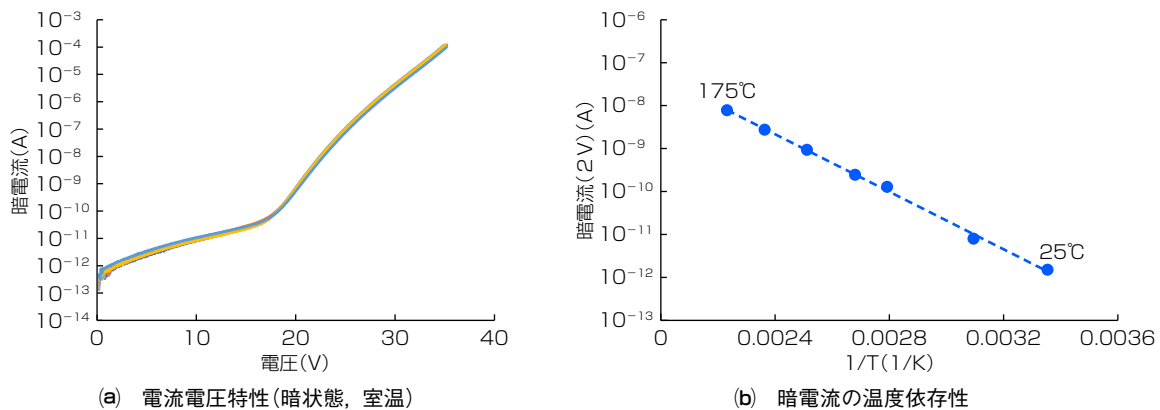


図8-電流電圧特性

図9に、開発した裏面入射型PDの二次元光電流分布の測定結果を示す。基板側からスポット径約2μmに集光した光を入射し、PDをx方向・y方向に走査しながら各点の光電流分布を取得しマッピングしている。PD電圧は2V、入射光の波長は1,310nmである。図9(a)は集積レンズがない場合の光電流分布であり、高い感度が得られる範囲(感度トランス)が約φ10μmであることが分かる。これは、集積レンズがない場合の受光領域サイズがpn接合サイズである10μmに対応していることを示している。図9(b)は集積レンズがある場合の光電流分布であり、レンズを集積することで感度トランスが約φ40μmに拡大できていることが分かる。これは、以前からある一般的な光軸調芯方法を使用可能とするサイズであり、複数レーンでの光軸調芯を考慮した場合に重要である。感度は約0.60A/Wが得られた。これは、光吸収層厚とメタルミラー構造の最適化によるものと考えられる。

図10に、周波数応答特性の測定結果を示す。PD電圧は2V、入射光の波長は1,310nm、光入力パワーは0dBmであり、PDチップに形成した電極パッドに高周波プローブで直接コンタクトして測定している。3dB帯域は約65GHzと高い値が得られており、100Gbaud動作に十分な値が得られている。また、周波数応答特性にピーキングがなく、なだらかに低

下していく形状であることから、過剰に外部のインダクタンスなどで持ち上がった特性ではないことも分かり、後段の配線パターンや増幅回路と組み合わせやすい特性になっている。

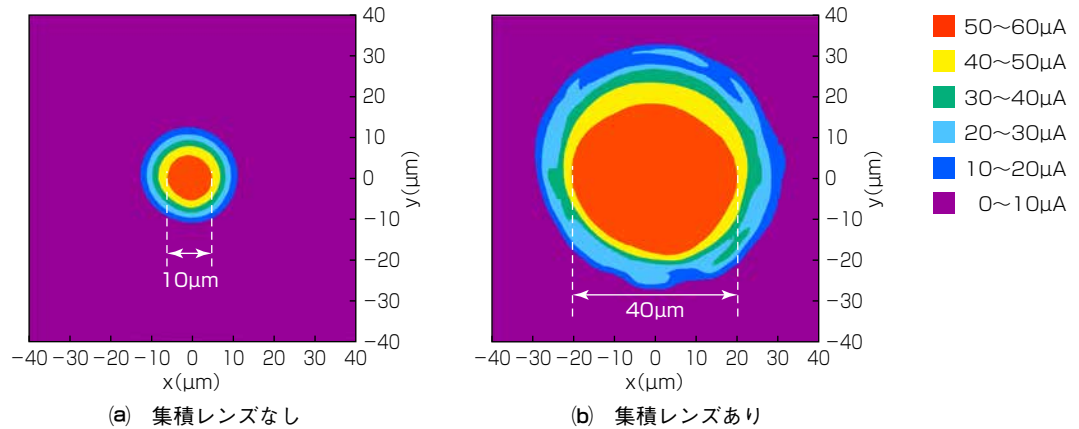


図9-二次元光電流分布

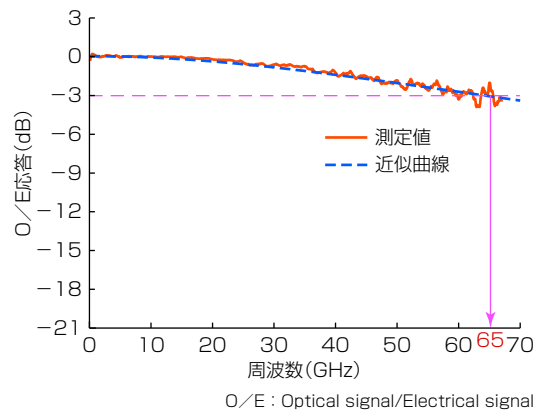


図10-周波数応答特性

6. むすび

今回、データセンターの次世代800Gbps/1.6Tbps通信に向けた、1波長当たり200Gbpsで動作する超高速EML及びPDを開発した。当社独自のハイブリッド導波路構造、裏面レンズ構造を採用し、設計パラメーターを最適化することで200Gbpsの超高速変調を可能にしており、データセンターの高速大容量化に貢献し得るものである。

参考文献

- (1) 東 祐介, ほか: データセンター向け広動作温度範囲CWDM 100Gbps EML, 三菱電機技報, 97, No.3, 139~142 (2023)
- (2) IEEE P802.3dj 200 Gb/s, 400 Gb/s, 800 Gb/s, and 1.6 Tb/s Ethernet Task Force (2024)
<https://www.ieee802.org/3/dj/index.html>
- (3) Morita, Y., et al.: 1.3 μm 28 Gb/s EMLs with hybrid waveguide structure for low-power-consumption CFP2 transceivers, 2013 Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference (2013)
- (4) 大和屋 武, ほか: 次世代100GbEトランシーバ向けハイブリッド導波路型EMLの低電圧・高温動作, 電子情報通信学会総合大会2013, C-4-18 (2013)
- (5) Nakaji, M., et al.: The balanced photodetector buried with semi-insulating InP, 2005 IEEE LEOS Annual Meeting Conference Proceedings (2005)
- (6) Takemura, R., et al.: 25Gbps × 4ch photodiode array with high responsivity for 100Gbps Ethernet, 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication (2010)
- (7) Takemura, R., et al.: Low dark current backside-illuminated photodiode for 200 Gb/s operation with 40 μm wide alignment tolerance, 2023 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (2023)

デジタルコヒーレント通信方式用 波長モニター内蔵DFB-CAN

岡崎拓行*
Hiroyuki Okazaki
長谷川清智*
Kiyotomo Hasegawa
金子進一†
Shinichi Kaneko

鈴木純一‡
Junichi Suzuki

DFB-CAN with Wavelength Monitor for Digital Coherent Optical Transmission System

*高周波光デバイス製作所
†同製作所(工博)
‡情報技術総合研究所(工博)

要 旨

近年、通信の高速大容量化に伴い、データセンターを各地に分散立地させデータ処理を効率化する動きが進んでいる。これらのデータセンター間通信では、通信品質を保ち、かつ高速・大容量通信が可能なデジタルコヒーレント通信方式が注目されているが、従来の強度変調通信方式と比べて、光トランシーバーが大型になること、かつ消費電力が大きいことが課題になっている。三菱電機ではデジタルコヒーレント通信方式用光トランシーバーの小型化と低消費電力化に貢献するため、小型のTO(Transistor Outline)-CANパッケージを用いた単一光源デバイスとして波長モニター内蔵DFB(Distributed Feed Back)-CANを開発した。TO-CANパッケージの採用及び波長モニターの小型化によってOSA(Optical Sub-Assembly)サイズは約8分の1に小型化し、SOA(Semiconductor Optical Amplifier)を搭載したDFB-LD(Laser Diode)によって高出力・高効率化し、光出力19dBm以上、消費電力1.0W以下の良好な特性を得た。

1. ま え が き

SNS(Social Networking Service)や動画配信サービスの普及に加えて、クラウドサービスの拡大、AI技術やDX(Digital Transformation)の進展によって、使用されるデータの量が爆発的に増加している。これらに対応するため、データセンター内だけでなくデータセンター間での高速かつ大容量の通信が必要になってきている。現在データセンター内で用いられている光トランシーバーは、低遅延で低消費電力を特長とする強度変調通信方式が主流であり、2 km以下の短距離通信に適している。これに対して、最大120kmになるデータセンター間通信では、波長分散の影響によって通信品質が低下するため、適用が困難であった⁽¹⁾。

このような背景から、多値変調や光の偏波を用いることで高いスペクトル効率が得られ、デジタル信号処理を利用することで光信号の劣化を補償可能であり、長距離通信で優れたデジタルコヒーレント通信方式⁽¹⁾が注目されている。しかしながら、デジタルコヒーレント通信方式は、強度変調通信方式に比べて、光トランシーバーのサイズや消費電力が大きいことが課題になっている。この課題を解決するために、光トランシーバー内に搭載される小型・低消費電力光源デバイスとして波長モニター内蔵DFB-CANを開発した。

デジタルコヒーレント通信方式では、光の位相と強度を変調する16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)などが用いられるため、光源には位相雑音が少なく高い光出力が要求される。また、波長分割多重システムで、効率的な周波数利用や干渉の防止を実現するため、波長スペクトルの安定度も重要な性能として挙げられる。

本稿では、波長モニター内蔵DFB-CAN用として開発したDFB-LDで、高光出力設計を実施したその構造と特性を述べる。また、Si(シリコン)フォトニクスを用いて小型化した波長モニターチップの適用、及び熱電素子とDFB-LDの放熱構造の最適化によって得られた良好な波長安定度と消費電力について述べる。

2. 波長モニター内蔵DFB-CANの構造と目標性能

波長モニター内蔵DFB-CANの構造を図1に示す。光源にはこのデバイス用に新規設計したDFB-LDを用いて、Siフォトニクスによって機能を集約した波長モニターチップとともに熱電素子の上に実装され駆動温度を調整可能な構造になっている。DFB-LDから出力される前面光はコリメートレンズとTO-CANパッケージのキャップに実装されたレンズによって光ファイバーに集光して利用される。DFB-LDの背面光は、Si波長モニターチップに結合されており、Si波長モニターチップ内で波長変化が強度変化に変換されることによってモニターPD(Photodiode)電流として取り出される。この波長情報を持つモニターPD電流を熱電素子やDFB-LD駆動電流にフィードバックすることで波長の安定動作が

可能である。パッケージには直径5.6mm、長さ8.3mmのTO-CANを採用することによって、Micro-ITLA(Integrable Tunable Laser Assembly)用のバタフライパッケージ⁽²⁾と比較して約8分の1の体積に小型化した。

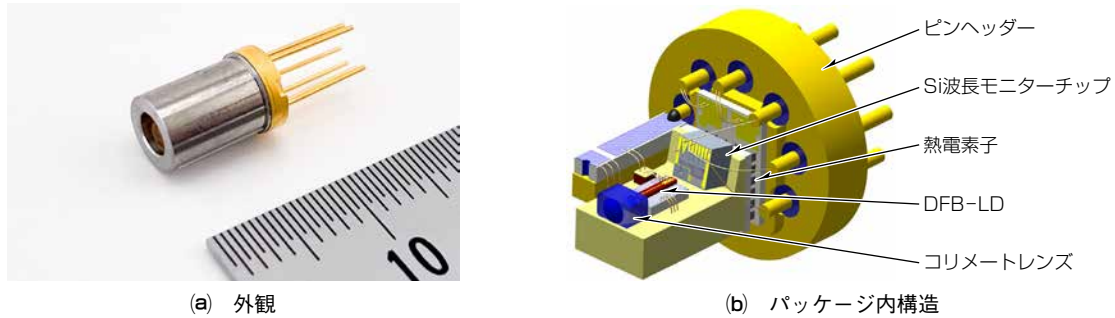


図1- 波長モニター内蔵DFB-CAN

性能はOIF(Optical Internetworking Forum)で規定されているOIF-400ZR⁽³⁾を参考に、目標を表1のとおり設定した。ピンヘッダーの放熱面温度 $-5 \sim +75^{\circ}\text{C}$ で、DFB-LD駆動電流と熱電素子の合計消費電力1.5W以下で動作し、TO-CANレンズから18dBm以上の光出力を得ることを目標とした。波長は無中継伝送アプリケーション用に規定されている193.7THzに対応する1,547.72nmとし、波長安定度は光トランシーバーの送信光レーザー周波数精度 $\pm 1.8\text{GHz}$ 以下に対してモニター精度を $\pm 1.0\text{GHz}$ 以下、光スペクトル線幅は伝送距離120km以下で要求される500kHz以下とした。

表1- 波長モニター内蔵DFB-CAN目標性能

項目	目標性能
動作温度	$-5 \sim +75^{\circ}\text{C}$
光出力	$\geq 18\text{dBm}$ (63mW)
波長(光周波数)	1,547.72nm(193.7THz)
光スペクトル線幅	$\leq 500\text{kHz}$
波長安定度	$\leq \pm 1.0\text{GHz}$
消費電力	$\leq 1.5\text{W}$

3. DFB-LDの特性

DFB-LDの前端面光出力は、実装誤差やレンズ表面での反射、レンズの挿入損を考慮し、19dBm(約80mW)以上を目標とした。図2に、今回の開発でのDFB-LDの断面構造を示す。n型InP(インジウムリン)基板を用いて、電流ブロック層にはリーク電流やキャリア再結合の抑制、長期安定性による長寿命化を目的としてFe(鉄)ドーピングInPを適用した。また、光出力の高効率化と動作温度変化に対する高い安定性を得るためレーザー活性層にはアルミニウム系材料を適用した。前端面側には、高光出力を得るためSOAを搭載し、ファイバーへの光結合効率向上を目的にしてSSC(Spot Size Converter)

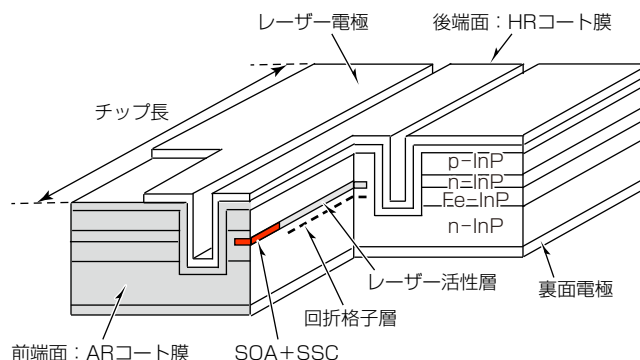


図2- 高光出力狭線幅DFB-LDの断面構造図

も同時に搭載している。チップ長は、光出力とスペクトル線幅特性にトレードオフの関係性がある κ L(全回折格子の光結合)の最適化によって1,000 μ mとした。また、効率的に外部へ光を放出するため前端面にはAR(Anti Reflection)コート膜を適用し、後端面には共振器内の光の強度を高めるためにHR(High Reflection)コート膜を用いた。図3に、開発したDFB-LDの光出力特性及び光スペクトル線幅特性を示す。DFB-LDの光出力と熱電素子の消費電力を鑑みてLD温度55 $^{\circ}$ Cとして、LD電流400mA、電圧1.5Vで19.4dBm(87mW)の前端面光出力が得られ、目標の19dBm以上を達成した。光スペクトル線幅でも同一条件で270kHzが得られ、目標である500kHzを十分に満たす良好な値が得られた。

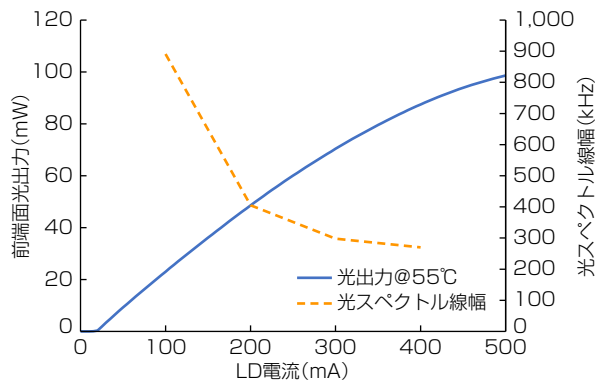


図3 - DFB-LD前端面光出力及び光スペクトル線幅の特性

4. Si波長モニターチップ

従来の光源モジュール⁽⁴⁾で波長モニターはエタロンを用いた空間光学系によって構成され、大きな体積を必要としていたが、今回の開発ではSiフォトリソ技術を用いて波長モニター機能をワンチップ化した。これによってSi波長モニターチップはDFB-LDと同一熱電素子上に実装することが可能になり、光源デバイスの小型化に大きく寄与した。一方で、長期駆動条件下では、LDの効率劣化を補償するため駆動電流と温度を調整する必要があるが、Siを用いた波長モニターチップは温度依存性が大きいことから、波長モニター誤差が大きくなる。そこでこのSi波長モニターチップでは、Si導波路と異なる温度係数を持つSiN(窒化シリコン)導波路を組み合わせマッハツェンダー型フィルタを構成し、フィルタ特性の温度依存性を低減するアサーマル構造を導入した。ここで長期駆動後は光出力の維持のために初期値の1.2倍のLD駆動電流が必要になると仮定したところ、LD温度は約6 $^{\circ}$ C上昇すると算出された。図4に、作製したアサーマルSi波長モニターチップの温度変化に対する光周波数モニター値の変動量を示す。測定結果の近似曲線から波長モニターの温度依存性は0.17GHz/Kになり、目標である波長安定度 \pm 1.0GHzを満たすには、11 $^{\circ}$ C以内の温度変化に収まる必要があるが、同一熱電素子上に配置されているSi波長モニターチップの想定される温度変動も6 $^{\circ}$ Cであり、長期駆動に対しても問題ないことが確認された。

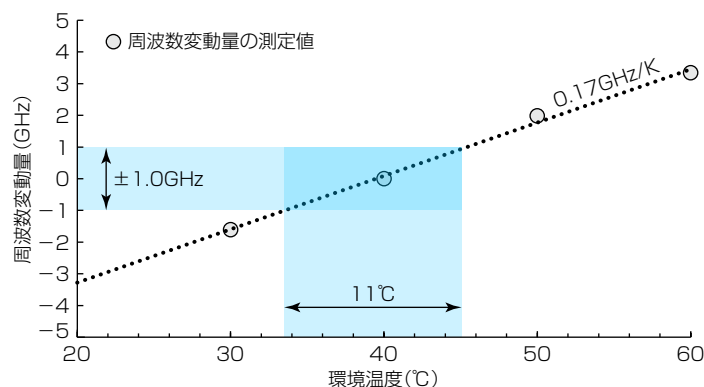


図4 -アサーマルSi波長モニターチップでの光周波数変動量の温度依存性

5. 波長モニター内蔵DFB-CANの特性

今回の開発でのDFB-LDとSi波長モニターチップをTO-CANパッケージに実装し特性確認を行った。目標消費電力を達成するためには、DFB-LDの高出力化によるLD駆動電流抑制に加えて、DFB-LD及び熱電素子で発生した熱を効率良くヒートシンクに放熱することも重要であり、TO-CANパッケージのピンヘッダー部分の熱抵抗が小さくなるように設計した。図5、にDFB-LD温度55℃時の波長モニター内蔵DFB-CANの光出力特性を示す。LD電流400mA、電圧1.5V印加時に19.3dBm(84.7mW)の光出力が得られ、目標である18dBm(63mW)以上を達成した。図6に、DFB-LD温度を55℃一定に保った状態でパッケージ温度を-5~+75℃で変化させたときのDFB-LDと熱電素子の消費電力の合計である波長モニター内蔵DFB-CANの総消費電力を示す。DFB-LD温度とパッケージ温度の差が大きいために熱電素子の消費電力が大きくなり、冷却と加熱の効率の差からパッケージ温度75℃で最大0.97Wになり、目標の1.5W以下を達成した。

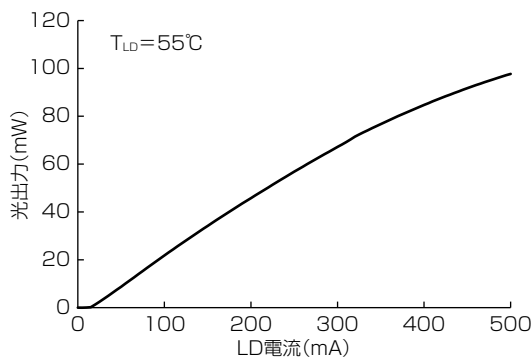


図5- 波長モニター内蔵DFB-CANの光出力強度

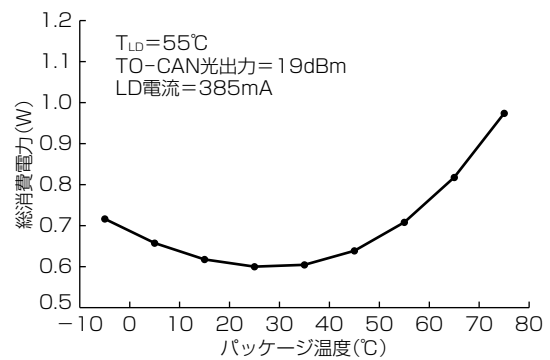


図6- 波長モニター内蔵DFB-CANの総消費電力

6. むすび

デジタルコヒーレント通信方式用光トランシーバーの光源として波長モニター内蔵DFB-CANを開発した。TO-CAN及びアサーマル化したSi波長モニターチップを採用することで、従来光源であるMicro-ITLA用のパタフライパッケージと比較して約8分の1の体積に小型化し、±1.0GHz以下の高い波長安定度を得た。また、高出力・高効率のDFB-LDを設計し、放熱性の高いパッケージ構造を採用することで、光源として光出力18dBm以上、消費電力1.0W以下など、目標性能を達成した。この製品は、データセンター間通信用光トランシーバーに対するデジタルコヒーレント通信方式の適用で、画期的な一歩を踏み出すものになり、通信業界に大きな影響を与えるものと期待する。

参考文献

- (1) Zhou, X., et al. : Beyond 1 Tb/s Intra-Data Center Interconnect Technology: IM-DD OR Coherent?, Journal of Lightwave Technology, **38**, No.2, 475~484 (2020)
- (2) Optical Networking Forum : Micro Integrable Tunable Laser Assembly Implementation Agreement (OIF-MicroITLA-01.1) <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/2019/01/OIF-Micro-ITLA-01.1.pdf>
- (3) Optical Networking Forum : OIF-400ZR-03.0 - Implementation Agreement (IA) 400ZR <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-03.0.pdf>
- (4) 後藤田光伸, ほか: デジタルコヒーレント伝送用二出力波長可変半導体レーザ, 三菱電機技報, **91**, No.5, 281~284 (2017)

100°×73°広画角80×60画素サーマルダイオード 赤外線センサー“MeIDIRシリーズ”

80×60 Pixels Thermal Diode Infrared Sensor "MeIDIR Series" with
100°×73° Field of View

*高周波光デバイス製作所

要 旨

三菱電機は、2019年に、人・物の識別、行動把握を高精度に実現するサーマルダイオード赤外線センサー“MeIDIR(メルダー)”を市場投入した。今回、MeIDIRシリーズの新たな製品ラインアップとして、100°×73°の広画角化を実現したMIR8060C1を開発した。従来製品同様の80×60画素による人・物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持したままで従来製品の2倍以上の検知面積を実現し、一つの赤外線センサーでモニタリングできる範囲を拡大した。また、顧客サポート体制を構築し、ユーザーサポートツールを提供している。MeIDIRの開発を通して、安心・安全で快適な暮らしの実現に貢献する。

1. ま え が き

波長380nm(青)~780nm(赤)の可視光よりも波長の長い領域の光を赤外線と呼び、その中でも、8~14μmの赤外線はLWIR(Long-Wavelength InfraRed)と呼んでいる。このLWIR領域の光を検出するセンサーを一般的に赤外線センサーという。赤外線センサーは人・物を検知する目的で用いられ、可視光によるカメラと異なり個人の特特定が困難であることから、プライバシーを守りながら人・物の検知ができることが特長である。

当社が2019年に市場投入した赤外線センサーMeIDIRは当社独自のSOI(Silicon On Insulator)ダイオードで構成されており、サーモパイルや焦電センサーに対して高画素化と高温分解能が可能になった。プライバシーを守りながら人・物の識別、行動把握を高精度に実現でき、高齢者施設での見守り分野や空調機器に搭載されるセンサーとして使用されている。その中で、高齢者施設やビル、商業施設などの広い空間をモニタリングする用途で、一つの赤外線センサーで検知できる範囲を広げたいというニーズがある。そこで、画角が100°×73°で広範囲のモニタリングが可能になる新製品MIR8060C1を開発した(図1)。

本稿では、当社独自技術であるサーマルダイオード赤外線センサーMeIDIRの特長と、100°×73°の広画角化を実現したMeIDIRシリーズの新機種MIR8060C1の特長について述べる。

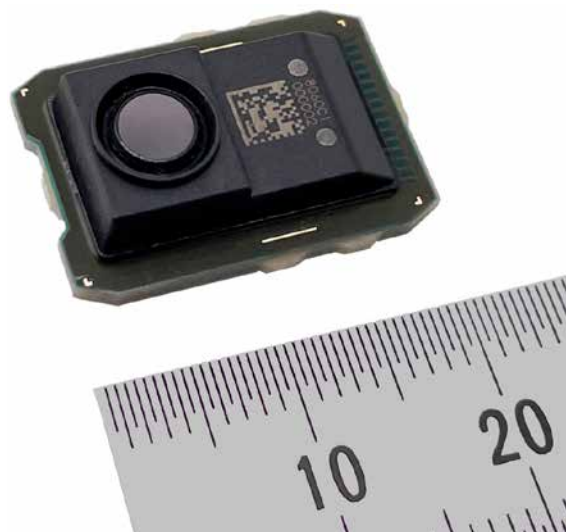


図1 -MIR8060C1

2. サーマルダイオード赤外線センサー

2.1 赤外線の種類

絶対温度0K以上の全ての物体は電磁波を放射する性質を持っており、黒体(全ての波長の放射を吸収するような物体)に対する波長当たりの放射量(放射発散度)は次の式で表される(プランクの放射則)。

$$M(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left\{ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right\}^{-1} \text{ (W/(\mu m} \cdot \text{m}^2))$$

$$C_1 = 3.74 \times 10^8 \text{ (W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2)$$

$$C_2 = 1.44 \times 10^4 \text{ (\mu m} \cdot \text{K)}$$

(λ: 波長, T: 絶対温度(K), C₁, C₂: 放射定数)

図2に黒体温度に対する波長ごとの電磁波の放射量を示す。LWIRは低温から放射され300K付近の常温域でピークを迎えるのに対して、可視光は現実的な人間活動の温度領域ではほとんど放射されない。

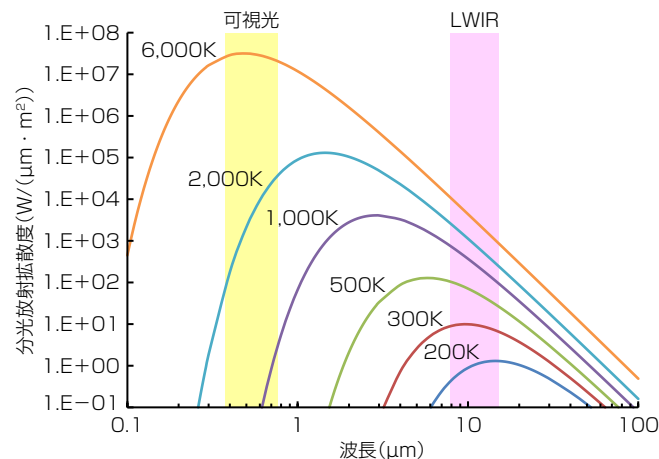


図2-黒体からの電磁波の放射量と波長の関係

実際の物体の電磁波の放射量は、物体の種類や表面状態によって異なる。黒体と比べた物体の放射量の割合は、例えば人体であれば0.98程度であるのに対して、研磨したアルミニウムだと0.04程度になる。

また、電磁波は大気中で水蒸気や二酸化炭素によって吸収される性質があるが、波長が8~14μmの領域は吸収が少なく、“大気の窓”と呼ばれ遠方の熱源の検出に特に優れた特性を持っている。

さらに赤外線は可視光との波長の差が大きいため、その影響を受けにくく、波長が長いと可視光と比べて散乱しにくい性質を持っている。

このような性質のため、赤外線は簡単な熱源検知から、長距離の温度分布測定やリモートセンシングまで幅広い用途で利用されている。

2.2 赤外線センサー

赤外線センサーは、赤外線を受光して電気信号に変換することで、非接触で物体の熱を検知できる。赤外線センサーは①暗視が可能、②外乱光の影響を受けにくい、③散乱の影響を受けにくい(例: 煙が充満した状況でも対象の識別が可能)という特長がある。また、画像化しても可視光に対して感度を持たず、人体の認識は可能だが個人認識まではできないため、プライバシー保護が必要な用途にも適している。図3に赤外線画像(熱画像)と可視画像の比較を示す。

赤外線センサーは検知方式から量子型と熱型に大別される。量子型は、CCD(Charge Coupled Device)などの一般的な可視光センサーと同様に、光電効果によって発生する電荷を検知する方法で、感度は高いが熱雑音の影響を低減するため冷却装置が必要で利用分野が限定される。熱型は、赤外線を検知部が吸収した結果生じる温度変化を電気信号に変換する方式で、量子型と比べて感度は低い冷却が不要であるため幅広い用途に活用されている。

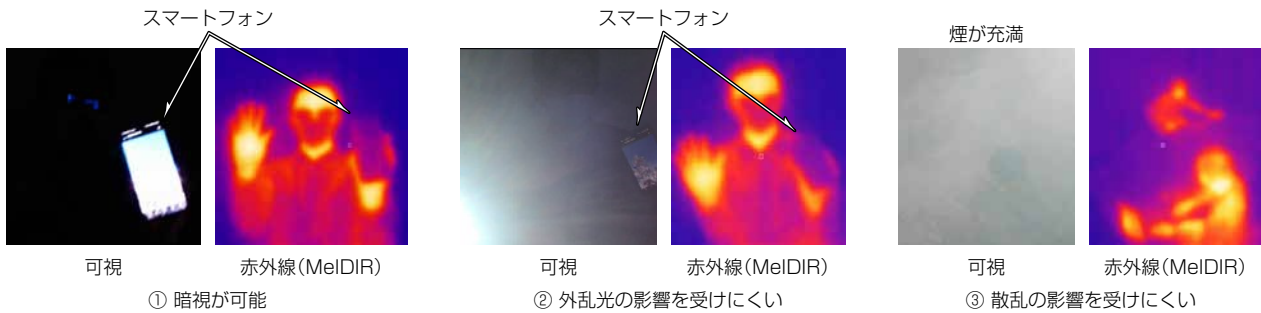


図3-赤外線センサーの特長

一般的に広く使われている熱型赤外線センサーは、温度変化を検出する方式として、焦電センサー方式、サーモパイル方式、ボロメーター方式の3方式が主流であった。

焦電センサー方式は、焦電効果を利用し、強誘電体の分極変化を検出する方式である。温度変化に対して起電力が発生するため、静止した物体の検知には不向きである。消費エネルギーが小さく製造コストも安いという利点があるが、製造方法から多画素化には不向きであるため、簡単な構造である単画素の人感センサーなどに利用されている。

サーモパイル方式は、ゼーベック効果を利用し、異種金属を接合した熱電対の起電力を検出する方式である。一つの熱電対の感度が小さいため実用的な感度を得るためには多数の熱電対を直列に接続する必要がある。そのため、画素サイズが大きくなり、多画素化を行うとセンサーチップサイズや光学系が大きくなって急激に製造コストが高くなる傾向があるが、省電力で校正が容易なため、比較的画素数の少ないセンサーに利用されている。

ボロメーター方式は、電気抵抗の温度依存性を利用し、抵抗の温度による抵抗値の変化を検出する方式である。半導体製造工程と相性が良く、抵抗体の熱電変換効率が優れているため感度が高いという利点があって多画素化に向いている。しかし、熱電変換の特性が非線形なため、受光面内の画素ごとの出力特性を一定にするための補正処理が必要で、補正演算や補正值を記憶するために規模の大きな半導体素子が必要になる。また補正值の取得のための調整・検査コストが大きいこともあってセンサー価格が高価になる傾向がある。

2.3 サーマルダイオード方式

当社では、これまでの赤外線センサーと異なり、ダイオードを温度検知部にした独自のサーマルダイオード方式を開発した。サーマルダイオード方式は、一般的なシリコン半導体製造工程で形成されるPN接合ダイオードを使用することを特徴としており、ボロメーター方式と同様に半導体工程との相性が良く高感度を得やすく多画素化が容易な方式である。一定電流で駆動するダイオードの順方向電圧の温度変化を利用して熱電変換を行っている。ダイオードの順方向電圧は温度に対して線形に変化する特性を持つため補正が容易で、その電圧特性は半導体工程の注入条件で決まる。また、ダイオードは単結晶シリコンで形成されバンドギャップにばらつきがないため、同一チップ内の画素の均一性が高いという特長を持つ。

3. サーマルダイオード赤外線センサーMeIDIR

3.1 赤外線センサーモジュールMeIDIRシリーズ

従来の赤外線センサー市場は、低画素・低価格の熱検知用途の製品と、高画素・高価格の赤外線イメージング用途の赤外線カメラに二極化していた。より高度な熱源の状態の把握が可能で低価格な製品に対する市場からの要求は以前からあったが、従来のセンサー技術の制約のために高画素かつ低価格なセンサーを提供できなかった。

当社は独自のサーマルダイオード方式のセンサー素子を使用し、図4に示すように、従来なかった画素数と価格帯の赤外線センサーモジュールとしてMeIDIRシリーズを開発した。2019年にMIR8032B1を市場投入し、2021年に高画素化を実現したMIR8060B1、2023年に200℃までの高温検知を実現したMIR8060B3、と製品ラインアップを拡充してきた。今回、新たに広画角化となるMIR8060C1を開発した。表1にMeIDIRの製品ラインアップを示す。

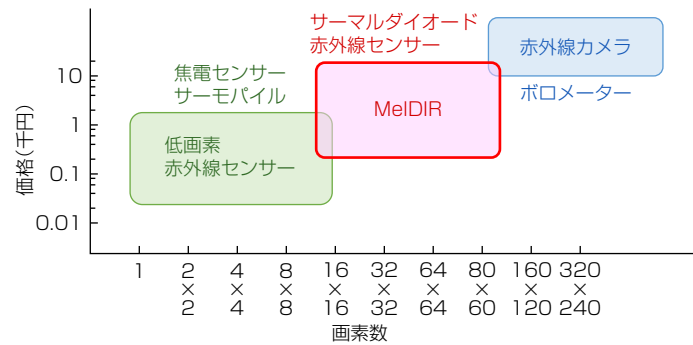


図4-赤外線センサーの要求価格と画素数

表1-MeIDIRの製品ラインアップ

形名	MIR8060C1	MIR8060B3	MIR8060B1	MIR8032B1
発売時期	2025年1月	2023年5月	2021年7月	2019年11月
検知可能温度範囲	-5~+60(℃)	-5~+200(℃)	-5~+60(℃)	
画素数	80×60			80×32
画角	100°×73°(Typ.)	78°×53°(Typ.)		78°×29°(Typ.)
フレームレート	4/8fps			4fps
温度分解能	180mK(Typ.)	250mK(Typ.)	100mK(Typ.)	
消費電力	50mA以下			
製品サイズ	19.5×13.5×9.7(mm)	19.5×13.5×9.5(mm)		
通信インターフェース	SPI			

Typ.: Typical Value, SPI: Serial Peripheral Interface

3.2 MeIDIRの高感度化技術

熱型赤外線センサーは温度検知部の温度変化を熱電変換するため、温度検知部と周辺環境との間の熱コンダクタンスが高いと検知感度が低下する。また、周辺画素との間の熱コンダクタンスが高いと画素で検出した熱が周辺画素に伝わるために分解能が低下する。そのためMeIDIRでは画素であるダイオードと画素を形成する母材であるシリコン基板との間を中空化し、ダイオードを支持脚で保持する構造を形成し、この支持脚の中に配線を通すことでシリコン基板との間の熱コンダクタンスを下げつつ、構造維持と電気的な接続を実現している。この支持脚構造はSOI基板を用いて温度検知部のダイオード構造と周辺の読み出し回路をシリコン半導体製造工程で形成後ドライエッチングを行うことで形成しており、低コストで製造できる。図5にMeIDIRの温度検知部の拡大写真を示す。画素ピッチ25μmの温度検知部が支持脚構造によって保持される中空構造が均一に形成できていることが確認できる。

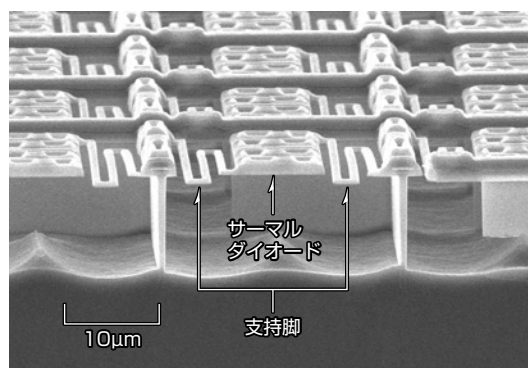


図5-MeIDIRの温度検知部の拡大写真

また、温度検知部は中空構造にするとともに真空状態にすることで更に感度を高くできる。赤外線を透過しつつ真空状態で封止するパッケージ状態が必要であり、図6に示すように、センサーチップ上に封止枠を形成してチップ上に赤外線を透過する窓材で直接封止するチップスケールパッケージ技術を開発した。

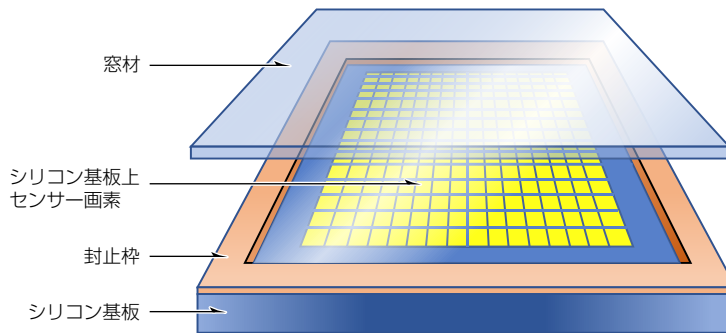


図6-チップスケールパッケージの構造図

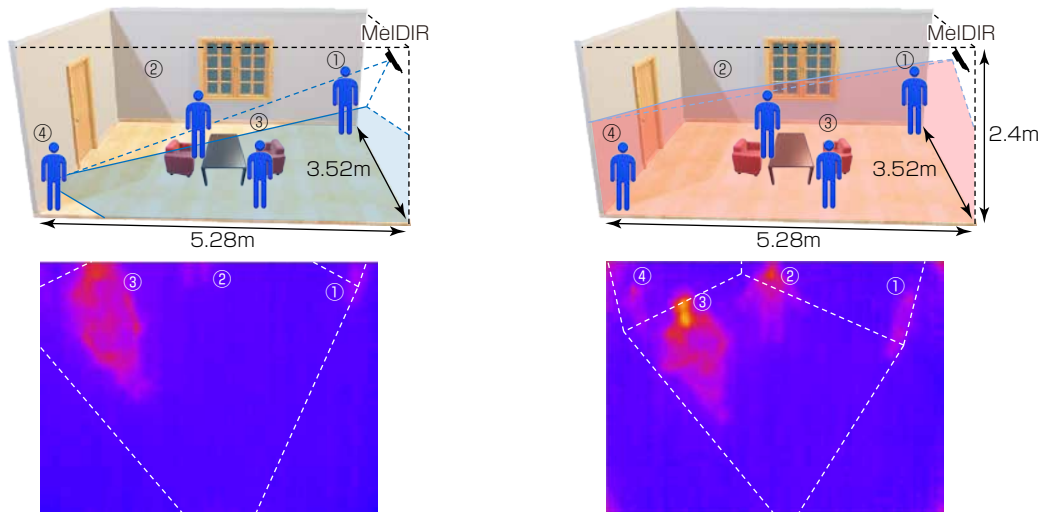
4. MIR8060C1

4.1 MIR8060C1の特長

2019年に市場投入した赤外線センサーMeIDIRは、高齢者の見守りや空調などで使用されている。今回、より広い範囲を検知できるように画角を100°×73°に広げたMIR8060C1を開発した。

MIR8060C1は従来製品のMIR8060B1に対して、光学系以外の要素は共通化し、光学系は画角の拡大と画像周辺の収差を抑制した設計にした。それによって、既存のアレーフォーマット80×60画素による人・物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持したままで、従来製品の2倍以上の検知面積を実現した。

図7は部屋に設置して撮像した場合のMIR8060C1とMIR8060B1の検知可能範囲比較と熱画像比較である。MIR8060C1はMIR8060B1の検知範囲でカバーしきれない床面全体を捉えており、また熱画像でも人の全身を撮像できることが分かる。広画角化によって1台のセンサーで広範囲のモニタリングが可能になった。



既存品(MIR8060B1)：床面をカバーしきれない

新製品(MIR8060C1)：床面全体をカバー

図7-部屋に設置した場合のモニタリング範囲の比較

また、図8は200坪のオフィス内を天井からモニタリングした場合のセンサー設置数のMIR8060C1とMIR8060B1の比較を表す。MIR8060C1は広画角化によって従来製品の2倍以上の検知面積になり、センサー設置数は従来比2分の1個以下と少ない台数での設置が可能になったため、顧客側の設置費用低減のメリットになる。

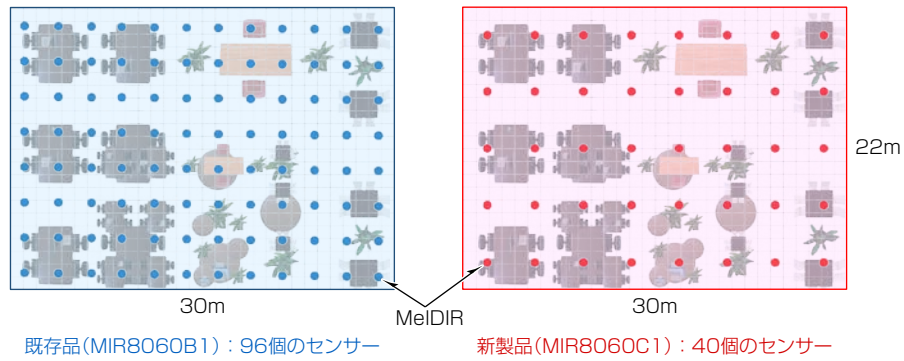


図8-センサー設置数の比較

4.2 ユーザーサポートツール

MeIDIRは発売開始当初から、顧客による評価及び製品開発を支援するユーザーサポートツールを充実化し、顧客サポート体制を構築してきた。新たに発売したMIR8060C1も同様に、発売と同時に各種ユーザーサポートツールを提供する。

新製品の評価用デモキット(図9)、ハードウェアやソフトウェアの開発に必要なリファレンスデザイン等の情報を提供する。また、人検知や姿勢検知のアルゴリズムを作成するためのAIモデル作成ツールを提供する。図10はトイレでの姿勢検知アルゴリズムの例であり、トイレ内での姿勢を検出し、転倒などの異常な姿勢を検知することを示す。

各種ユーザーサポートツールの提供によって、顧客の製品開発期間短縮に貢献する。



図9-評価用デモキット(78×54×13(mm))

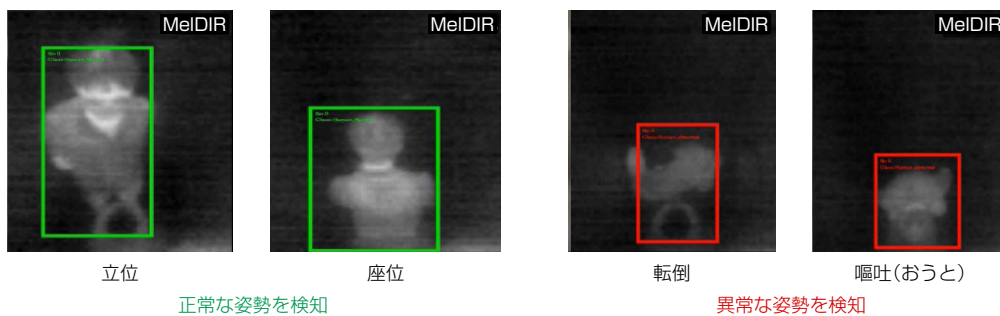


図10-トイレでの姿勢検知アルゴリズムの例

5. む す び

赤外線センサーMeIDIRの新製品として、100°×73°の広画面角化を実現したMIR8060C1を開発した。従来製品のMIR8060B1に対して、物の識別や行動把握、温度測定を高精度に検知する性能を維持しつつ、一つの赤外線センサーで検出できる範囲が広がった。製品ラインアップが拡充したことで、高齢者見守りや防犯、ビルや商業施設などの空調機器制御、人数カウントソリューション、体表面温度測定などの多様な用途に対して、よりカスタマイズされた製品の選択肢が可能になった。MeIDIRの開発を通して、人々がより安心・安全で快適な暮らしの実現に貢献していく。

社外技術表彰一覧表

2024年1月～2024年12月受賞分（受賞順に掲載）

●(一社)電子情報通信学会

小形アンテナコンペティション特別賞

「面対称な小形の2素子方形カールアンテナ」

情報技術総合研究所……………小倉裕史

●(公財)大河内記念会

第70回(令和5年度)大河内賞 大河内記念生産賞

「電界吸収型光変調器を集積した半導体レーザーダイオードの開発」

三菱電機㈱

●電気材料技術懇談会

優秀論文賞

「銅モリブデン複合材料を用いた放熱低熱膨張基板の開発」

先端技術総合研究所……………伊藤洋平

電子通信システム製作所……………高西謙二郎, 坂本竜也

藤原啓輔, 新井 等

●(一社)電気学会

電子・情報・システム部門 研究会奨励賞

「改良Adaptive Integer form of Population-Based Incremental Learning-Reactive Tabu Search と生産シミュレータによる工場需給連携最適化」

情報技術総合研究所……………川口嵩平

●(一財)機械振興協会

機械振興賞 機械振興協会会長賞

「船速に依存せず正確に方位制御可能な操船システムの開発」

先端技術総合研究所……………今村直樹

姫路製作所……………阪口 亮

ヤマハ発動機㈱……………伊藤 誠, 中安良和

Yamaha Motor Corporation, USA……………山口幸平

●(一財)国際ユニヴァーサルデザイン協議会

IAUD国際デザイン賞2023

銀賞

「病院向け多用途搬送サービスロボットシステム」

統合デザイン研究所……………荒井美紀, 湯浅美里, 藤村晶子

銅賞

「生活の邪魔をせずに室内の空気質を改善・維持する壁掛け式循環ファン」

統合デザイン研究所……………本村祐貴, 石浜真也

「大容量ホームフリーザー U22」

統合デザイン研究所……………大橋美紗子, 引間孝典, 中居 創

●(一社)電子情報通信学会

2023年度エレクトロニクスサイエティ活動功労表彰

「光エレクトロニクス研究専門委員会幹事としての貢献」

情報技術総合研究所……………村尾覚志

学術奨励賞

「時系列画像データ内の低SNR移動目標検出における推移確率制御型DPアルゴリズムの適用」

情報技術総合研究所……………辻本志保

「光伸長・圧縮による高周波数移行技術に向けた整形パルス光の強度揺らぎ測定」

情報技術総合研究所……………赤松孝俊

「4.3V_{pp}の出力電圧とパルス幅制御機能を備えた高速GaNスイッチング型エンベロープ増幅器用45nm SOI-CMOSドライバ回路」

情報技術総合研究所……………竹添慎司

「広帯域増幅器に向けたデジタル信号制御による2波の変調波信号の相互変調歪み抑圧の検討」

情報技術総合研究所……………田口巴里絵

「総合大会B-5-035 周波数ホッピング方式の伝送路推定値の結合による到来方向推定の精度評価」

情報技術総合研究所……………蒲原健一郎

「QoS連携した異種無線ネットワークにおける経路冗長化方式」

情報技術総合研究所……………鮫島景子

活動功労賞

「電磁界理論研究専門委員会幹事としての貢献」

情報技術総合研究所……………山本伸一

論文賞

「Variable-Gain Phase Shifter with Phase Compensation Using Varactors」

情報技術総合研究所……………平井暁人, 森 一富

三菱電機エンジニアリング㈱……………津久井裕基

本社……………堤 恒次

●(一社)兵庫県発明協会

令和6年度兵庫県発明等表彰 兵庫県発明賞

「赤外線撮像素子およびそれを備えた空気調和機」

高周波光デバイス製作所……………前川倫宏

●(公社)精密工学会

2023年度精密工学会論文賞

先端技術総合研究所……………高幣一樹

名古屋大学……………三輪 智, 社本英二

中央大学……………鈴木教和

●第15回日本複合材料会議

第15回日本複合材料会議 企業優秀講演賞

「ダブル部を有するCFRPシリンダの成形変形予測技術」

先端技術総合研究所……………高垣和規, 高橋市弥

鎌倉製作所……………長倉裕規

●(一社)電気学会

優秀論文発表賞

「電動機の固定子電流解析によるポンプ内キャビテーション検知技術の開発(その1)」

先端技術総合研究所……………神納康宏, 金丸 誠, 開田 健

神戸製作所……………入来院浩司

受配電システム製作所……………宮内俊彦

優秀論文発表賞(基礎・材料・共通部門表彰)

「メタサーフェスとスパイラルアンテナの散乱相殺を用いたRCS低減方法の斜入射特性改善」

情報技術総合研究所……………相馬敏樹

●(公社)空気調和・衛生工学会

第62回空気調和・衛生工学会賞 技術賞(建築設備部門)

「ZEB関連技術実証棟「SUSTIE」の環境・整備計画」

三菱電機㈱

㈱三菱地所設計

田辺新一

㈱弘電社

三菱電機冷熱プラント㈱

●東京電機大学

丹波保次郎賞

「2軸制御形ベアリングレスモータの軸方向振動抑制」

先端技術総合研究所……………三好将仁

●(一社)日本機械学会関西支部

2023年度関西支部賞技術賞

「4条スパイラル管を実現する製造装置」

生産技術センター……………宮川幸大

静岡製作所……………小出 徹

三菱電機エンジニアリング㈱……………中畑晋介

●(公財)電気通信普及財団

電気通信普及財団賞 テレコムシステム技術賞

「Techniques for Adaptive Input-Power Distribution in Doherty Power Amplifier and Load Modulation of Its Driver-Stage Power Amplifier」

情報技術総合研究所……………坂田修一, 小松崎優治

- 三重大学**
三重大学学長賞
「モータ相電流を用いた回転機械系の異常検知手法に関する研究」
先端技術総合研究所……………井上 啓
- (一社)日本光学会**
AI Optics 優秀発表賞
「深層学習を利用した小型赤外線センサーの高画質化」
先端技術総合研究所……………古田拓也, 桑田宗晴
- (一社)建築設備技術者協会**
第12回(令和5年度)カーボンニュートラル賞 関東支部賞
「三菱電機ZEB関連技術実証棟「SUSTIE」省エネ性と健康・快適性を極めたオフィス」
三菱電機㈱
(株)三菱地所設計……………羽鳥大輔, 諫早俊樹
(株)竹中工務店
(株)弘電社
三菱電機システムサービス(株)
三菱電機冷熱プラント(株)
- 京都府**
第68回京都府発明等功労者表彰
「制御装置、給湯機制御方法及びプログラム」
IoT・ライフソリューション新事業推進センター……………小川雄喜
新井隆司
小松正之
本社……………戸田明宏, 峯澤聡司
- 兵庫県**
令和6年度兵庫県発明等表彰
「回転電機の駆動装置(特許第7123165号)」
姫路製作所……………川元秀昭, 池田又彦, 金原義彦
先端技術総合研究所……………立花知也
「頭部姿勢推定装置および頭部姿勢推定方法」
先進応用開発センター……………虎間亮介, 丸谷宜史
「電力変換装置(特許第6549200号)」
先進応用開発センター……………早瀬 佳
- (一社)日本航空宇宙学会**
第33回日本航空宇宙学会論文賞
「先進グリッド構造の低熱膨張設計手法の開発」
先端技術総合研究所……………久米将実, 松本迪音
鎌倉製作所……………関根一史
- 航空宇宙技術遺産認定**
「準天頂衛星と静止衛星による高精度衛星測位システム」
三菱電機㈱
- (一社)日本電気計測器工業会**
IEC/TC65 国内委員会 国際標準化活動表彰
「奨励賞」
情報技術総合研究所……………王時暁楠ニコロ
- (国研)宇宙航空研究開発機構**
感謝状
「H3ロケット用共通ネットワークCPUモジュール製造の成果」
三菱電機㈱
- (一社)情報通信技術委員会**
功労賞
「通信ネットワーク運用管理に関する標準化活動にかかわる功績」
情報技術総合研究所……………吉田聡太
「伝送網の装置機能及び管理に関する標準化の推進にかかわる功績」
情報技術総合研究所……………斧原聖史
「若手標準化人材育成に繋がる3GPP勉強会施策にかかわる功績」
情報技術総合研究所……………上吉川直輝, 大賀正夫
「アクセス網システムに関する標準化の推進にかかわる功績」
情報技術総合研究所……………水口 潤
- (一社)日本鉄道車輛工業会**
令和6年度(第35回)日本鉄道車輛工業会表彰 精励者表彰
「鉄道車両工業の発展に貢献」
伊丹製作所……………白樫智也
- (一社)情報処理学会**
DCON論文賞
「Fairyview®: 俯瞰映像合成システムの開発と評価」
情報技術総合研究所……………皆川 純, 岡原浩平, 山崎賢人, 深澤 司
- (一社)電気学会**
第80回電気学術振興賞 論文賞
「集中巻PMモータの低トルクリップル化と高占積率化を実現する不均一巻線構造の提案」
先端技術総合研究所……………廣谷 迪, 岡崎広大本社……………池田紘子
姫路製作所……………中野正嗣
「陽子線照射したPolyimide内の空間電荷挙動のメカニズム推定に関する一検討」
先端技術総合研究所……………宮路仁崇
東京都市大学……………三宅弘見, 田中康寛
- 感謝状**
「電気学会における表彰受賞者の育成」
先端技術総合研究所……………久保一樹
- (一社)電子情報通信学会**
LQE 30周年記念 5月研究会 MVP賞
「インフォーマルミーティング2『若手企画セッション: これからのLQE』」
情報技術総合研究所……………鈴木純一
- (公社)発明協会**
令和6年度全国発明表彰 発明賞
「磁束の有効利用でレアアース量を削減したモータの発明(特許第5855680号)」
住環境研究開発センター……………矢部浩二, 桶谷直弘
- (一社)日本鉄道技術協会**
一般社団法人日本鉄道技術協会 2024年度「著作賞」
本社……………金子健太
伊丹製作所……………山下良範
- (公社)日本技術士会**
会長表彰(第2号)
「近畿本部役員、青年技術士交流委員会委員長としての日本技術士会への貢献活動」
生産技術センター……………藤内 洋
- (一社)Industrial Value Chain Initiative**
IVIつながるものづくりアワード2024 最優秀賞
「カーボントレーサビリティ実現と新価値創出」
先端技術総合研究所……………岩津 賢
(株)神戸製鋼所……………池田英生
マツダ(株)……………吉岡 新
ヨシワ工業(株)……………部村 暢
錦正工業(株)……………永森久之
日本電気(株)……………岡田和久
(株)日立ソリューションズ……………松本俊子
(株)ケー・ティー・システム……………木下守克
アビームコンサルティング(株)……………田中弘洋
- (特非)日本オゾン協会**
第31回日本オゾン協会技術賞
「オゾン水による膜洗浄技術を適用した省エネ型膜分離バイオリアクタの開発」
先端技術総合研究所……………林 佳史, 佐藤祐樹, 池田直樹
神戸製作所……………安永 望, 吉泉啓輔, 西川 勝
村田美来, 古賀大道
- 第31回日本オゾン協会論文奨励賞**
「オゾンガススパーキングによる地下水VOC 浄化検討」
先端技術総合研究所……………松浦洋航, 山内登起子

- (一社)電子情報通信学会
AP研究功賞
「無線端末・アンテナシステム測定技術研究会実行委員としての貢献」
情報技術総合研究所……………牧村英俊
SCISイノベーション論文賞
「分割統治法SATを用いたAESとCamelliaの最大差分/線形特性確率の導出」
情報技術総合研究所……………阪本光星, 芝 廉太郎
- 神奈川県電気協会
令和5年度神奈川県電気協会功労者表彰
「電気安全, 電気使用合理化ならびに協会活動への尽力」
鎌倉製作所……………塚本祥希
- (一社)電波産業会 ITS情報通信システム推進会議
感謝状
「ITSアプリケーションサブレイヤ仕様策定」
先端技術総合研究所……………濱田悠司
- (一社)情報処理学会
山下記念研究賞
「集計処理をもとにした関係データベースとグラフデータベースの性能評価」
情報技術総合研究所……………田村大樹
「プロンプト・チューニングは大規模言語モデルの安全性を高めるか?」
情報技術総合研究所……………中井綱人
ヤングリサーチャー賞
「シャッフルモデルにおける差分プライバシーのポイズニング攻撃の耐性評価」
情報技術総合研究所……………堀込 光
- IEEE
IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI)
Competition on Multi-Objective Black-Box Optimization Benchmarks in Human-Powered Aircraft Design
「Runner-Up(準優勝)」
情報技術総合研究所……………土井 護
- (公社)計測自動制御学会
計測自動制御学会学会賞
「国際標準化賞 奨励賞」
情報技術総合研究所……………王時暁楠ニコル
- (一社)電子情報通信学会 ヘルスケア・医療情報通信技術研究会
企業奨励賞
「電波と加速度を用いた非接触マルチモーダルセンサによる複数人の心拍間隔推定結果」
情報技術総合研究所……………和田紗希
- (一社)溶接学会 溶接法研究委員会
令和5年度溶接学会 溶接法研究委員会 溶接物理・技術奨励賞
「薄板ステンレス鋼TIG溶接における高速化と溶接裕度拡大技術の開発」
生産技術センター……………今井智也, 物種武士
大阪大学……………野村和史
- (一社)日本セキュリティ・マネジメント学会
辻井重男セキュリティ論文賞 特別賞
「SEDMA: Self-Distillation with Model Aggregation for Membership Privacy」
情報技術総合研究所……………中井綱人
- Organization Committee of 15th Asia Lighting Conference
The 15th Asia Lighting Conference 2024 Innovation Product Award
「Product Development of Ultra-thin Headlights Using the RIR Optical System」
先端技術総合研究所……………諏訪勝重, 桑田宗晴
電子通信システム製作所……………今儀潤一
- (一社)電気学会 産業応用部門
2023年電気学会産業応用部門大会 産業応用部門 優秀論文発表賞
「電磁鋼板の弾性応力下磁化曲線の推定手法に関する検討」
先端技術総合研究所……………水田貴裕, 廣谷 迪
名古屋製作所……………田中敏則
同志社大学……………藤原耕二
「1kHz帯から150kHz帯までコモンモード電流を補償する小型・低コストなアクティブEMIフィルタ」
先端技術総合研究所……………寺田 陽, 古庄泰章, 吉野浩行
- (一社)電気学会
論文査読功賞
「長年にわたる論文編修・査読に対する貢献」
先端技術総合研究所……………佐竹 彰
2023年度電子・情報・システム部門 貢献賞
「長年にわたるC部門編修活動への貢献」
インフォメーションシステム統括事業部……………坂上聡子
2023年電気学会優秀論文発表賞(研究会)
「第3世代650V RC-IGBTの局所ライフタイム制御と高密度配置タイオードによるジャンクション温度の低減」
パワーデバイス製作所……………阪口浩介
2023年度電子・情報・システム部門大会 企画賞
「ICTとスマート社会」による部門大会活性化への貢献」
先端技術総合研究所……………島田惇哉
(株)東芝……………矢野 亨
2023年度電子・情報・システム部門 査読促進賞
「論文の査読を迅速に終え, 査読期間の短縮に貢献」
パワーデバイス製作所……………中村勝光
- PCIM Asia
PCIM Asia 2024 Young Engineer Award
「3.3kV SBD Embedded SiC MOSFET module for railway applications」
パワーデバイス製作所……………用正大地
- 国土交通省 関東地方整備局
現場ニーズと技術シーズのマッチング評価における普及促進技術
「物理モデルと過去の実績データを活用した流量予測技術による河川管理業務支援」
三菱電機(株)(関越支社, 神戸製作所, 情報技術総合研究所)
- (公社)精密工学会
精密工学会技術賞
「熟練技能に頼らず加工不良要因の特定を容易にする切削加工DX技術の開発」
先端技術総合研究所……………金子弘樹, 佐藤 剛, 藤田智哉
- (一社)情報処理学会
第23回情報科学技術フォーラム FIT奨励賞
「需要の非定常変動環境下におけるベイジアンネットワークを用いた解釈性のある安全在庫量の決定」
東京理科大学……………木本翔太, 石垣 綾
情報技術総合研究所……………有水大地, 森山 健, 井対貴之
- (一社)電子情報通信学会
通信ソサイエティ活動功賞
「通信ソサイエティ会員事業企画幹事としての貢献」
情報技術総合研究所……………中島昭範
「英文論文誌編集委員としての貢献」
情報技術総合研究所……………谷 重紀
- (一社)照明学会
第22回照明技術開発賞
「超小型・高効率ヘッドライトを実現するRIR光学系の開発」
先端技術総合研究所……………諏訪勝重, 桑田宗晴
電子通信システム製作所……………今儀潤一
- (一社)日本電機工業会
2024年度(第73回)電機工業技術功績者表彰 優良賞(委員会活動)
「電機産業における環境価値の可視化, グリーントランスフォーマーション(GX)推進支援」
本社……………村井道雄

- (一社)電気学会 産業応用部門
2024年電気学会産業応用部門大会 産業応用部門 論文査読促進賞
「部門英論文誌の査読期間の短縮」
先端技術総合研究所……………近藤亮太, 小川 徹
「論文査読」
先端技術総合研究所……………埴岡翔太
- (一社)電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会
第55回電気電子絶縁材料シンポジウム MVPセッション 優秀発表賞
「SiCインバータ駆動モータの電圧波形を模擬した部分放電の数値解析」
先端技術総合研究所……………石川裕卓, 宮路仁崇, 大竹泰智
兵庫県立大学……………山田楓真, 大里辰希, 菊池祐介
- 経済産業省
令和6年度産業標準化事業表彰「イノベーション・環境局長表彰(産業標準化貢献者表彰)」
「個人功績表彰」
鎌倉製作所……………吉岡省二
- IEEE CAMA
Best Innovative Conference Paper Awards
「Terahertz Wave Sensing Technology for Visualizing Hidden Objects」
情報技術総合研究所……………平 明德, 早馬道也, 石岡和明
西村拓真, 杉田一郎, 平井暁人
- 株式会社エナジー
太陽光発電量予測AIコンペティション
「発電所別トップ賞(かすみがうら発電所)」
情報技術総合研究所……………伊藤 凜, 佐鳥玖仁朗, 加藤凌太
「発電所別トップ賞(塩谷佐貫発電所)」
情報技術総合研究所……………富岡洗貴, 吉村玄太, 坂東隆宏
村田拓海, 松永沙織, 加藤慶起
- (公財)日本デザイン振興会
グッドデザイン賞2024
「快適空間エレベーター」
統合デザイン研究所……………三品拳大, 坂田礼子, 星 匡朗, 嶋田 淳
「小学校「総合的な学習の時間」の教育支援 デザイン思考を活用した子どもたちによる「街づくりプロジェクト」」
統合デザイン研究所……………伊藤大聡, 吉田 傑, 田中陽奈子, 安田倫子
奥田 勇, 登 アイリ, 中島彩依
- (一社)航空交通管制協会
功労者表彰
「一般社団法人 航空交通管制協会 功労者表彰」
電子通信システム製作所……………畑 清之
- (一社)日本電機工業会
2024年度(第73回)電機工業技術功績者表彰 優良賞
「住宅の環境に合わせて自動でコントロールするAIエアコン霧ヶ峰Zシリーズの開発」
静岡製作所……………佐藤雅一, 光嶋和明
- 環境システム計測制御学会
第36回環境システム計測制御学会研究発表会 奨励賞
「機械学習による下水二次処理水中の全窒素濃度推定技術の開発」
先端技術総合研究所……………林 佳史, 吉田 航, 植田怜央
今村英二, 木本 勲
神戸製作所……………霜田健太
- (一社)火力原子力発電技術協会
令和6年度火力原子力発電所現場永年勤務者賞
系統変電システム製作所……………東海佑治, 武田憲一, 和田登志雄
澤山順一, 佐藤良二, 黒木真一
牧元清之, 鷲谷隆司, 藤瀬 浩
西木 亨, 三村和弘, 山下卓志
- (一社)火力原子力発電技術協会 関東支部
令和6年度火力原子力発電所現場永年勤務者賞
電力システム製作所……………池田暁紀
- 静岡県職業能力開発協会
令和6年度静岡県職業能力開発関係表彰 職業能力検定関係功労者
静岡製作所……………青木正明
- 国土交通省 近畿地方整備局
近畿地方整備局2024年度インフラDXコンペ 審査員特別賞
「モバイル3Dスキャナ Field LiDAR」
三菱電機(株)(関西支社, コミュニケーション・ネットワーク製作所,
通信システムエンジニアリングセンター)
- (一社)広島県発明協会
令和6年度地方発明表彰 広島県発明協会 会長賞
「信頼性を向上させた電子式回路遮断器(特許第6658969号)」
福山製作所……………原田幸樹, 瀧川雄介, 野村敏光
三菱電機エンジニアリング(株)……………近井聖崇
- PHM Society
PHM North America 2024 Conference Data Challenge 1st Place
「Estimating the health of turbine engine based on the relationship between torque margin and density altitude」
情報技術総合研究所……………増崎隆彦, 尾関剛成, 白神健瑠
脇本浩司, 中村隆顕
- 相模原商工会議所
令和6年度優良従業員表彰
「職務精励 担当職務:人工衛星構造体の部品接着・組立」
鎌倉製作所……………木村和正
- 兵庫県産業労働部
令和6年度兵庫県技能顕功賞
「半導体チップ製造工」
高周波光デバイス製作所……………高橋良和
「アーク溶接工」
伊丹製作所……………西垣 亮
「発電機・電動機組立工」
伊丹製作所……………近田 徹
「配電盤・制御盤組立・調整工」
伊丹製作所……………高松 剛
「フライス盤工」
系統変電システム製作所……………横原拓摩
「開閉制御機器組立工」
系統変電システム製作所……………櫻井裕也, 森 誠和
「変圧器組立工」
系統変電システム製作所……………岡嶋恭助
「プラスチック成形工」
系統変電システム製作所……………鈴木博之
「マシンングオペレーター」
電子通信システム製作所……………林 聡
- 神奈川県産業労働局
令和6年度神奈川県技能者等表彰
「青年優秀技能者 プリント基盤組立工」
鎌倉製作所……………白石和也, 須田裕太
- 神奈川県
令和6年度神奈川県技能者等表彰[青年優秀技能者]
「無線・有線通信機器組立工」
鎌倉製作所……………佐藤康平, 松本悠樟
- (公社)発明協会
令和6年度近畿地方発明表彰 発明奨励賞
「電磁開閉器を安定して生産する自動組立装置(特許第5814890号)」
生産技術センター……………白瀬隆史
本社……………大江慎一
名古屋製作所……………西原順二
福山製作所……………野口幸男
「電界吸収型変調器を集積した半導体レーザ」
高周波光デバイス製作所……………大和屋 武, 柳楽 崇, 奥田真也

令和6年度関東地方発明表彰

埼玉県知事賞

「μ波及び輻射加熱を連携制御する加熱調理器(特許第7363690号)」
三菱電機ホーム機器㈱……………高橋理佳, 伊藤巨薫, 大嶋和江
住環境研究開発センター……………森井 彰

静岡県知事賞

「暖房除霜同時運転を実現する空調システム(特許第7186845号)」
静岡製作所……………福井孝史, 渡辺和也
住環境研究開発センター……………田中航祐

群馬県発明協会会長賞

「施工初期の異物による漏水抑制仕様(特許第7188093号)」
静岡製作所……………板橋洋介, 竹鶴達哉, 佐久間利幸, 坂上智樹

神奈川県発明協会会長賞

「小型化した低騒音の新幹線搭載アンテナ(特許第7038634号)」
情報技術総合研究所……………西本研悟, 西岡泰弘
コミュニケーション・ネットワーク製作所……………坏 浩行
東海旅客鉄道㈱……………松村善洋, 西山武志

静岡県発明協会会長賞

「室外機用プロペラファン(特許第6377172号)」
住環境研究開発センター……………河野惇司
Mitsubishi Electric Europe, B.V./German Branch……………中島誠司
静岡製作所……………山本勝幸, 池田尚史

発明奨励賞

「省エネルギーと省資源に貢献する圧縮機(特許第5991958号)」
静岡製作所……………井柳友宏
本社……………前山英明
三菱電機エンジニアリング㈱……………服部直隆

「衛星搭載用通信機に用いる方向性結合器(特許第4874390号)」
鎌倉製作所……………山内和久
(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構……………中山正敏
コミュニケーション・ネットワーク製作所……………大中康公, 濱田倫一
設計システム技術センター……………石坂 哲

「安全安心を提供するCFRPレーザ加工機(意匠登録第1735949号)」
統合デザイン研究所……………加藤伸一, ランダム イアン
産業メカトロニクス製作所……………黒崎芳晴

「炊飯米量を設定することで最適な炊飯制御を行う炊飯器(特許第7063290号)」
住環境研究開発センター……………逸見憲一, 小池成彦
三菱電機ホーム機器㈱……………守岩和秋, 坂田直也, 大竹彩斗

「グラフ推定による不要レーザ波の検出(特許第7130169号)」
情報技術総合研究所……………谷高竜馬
経済産業省……………白石 将

「複雑な基地局配置でのタイミング調整技術(特許第6821096号)」
情報技術総合研究所……………三宅裕士, 青山哲也

「オフィスニーズに貢献するエアコン(意匠登録第1719758号)」
統合デザイン研究所……………石浜真也, 新井悟史

「永久磁石埋込型電動機(特許第7258140号)」
住環境研究開発センター……………増子智希, 松岡 篤

「インバータ台数削減を実現した冷凍空調装置(特許第7105961号)」
住環境研究開発センター……………畠山和徳, 清水裕一, 植村啓介

「寒冷地向けエアコンの冷媒回路の切替制御(特許第7069420号)」
冷熱システム製作所……………田代雄亮
静岡製作所……………早丸靖英, 佐藤雅一, 近藤雅一, 川島 惇

「空調和機の据え付け壁面温度検知技術(特許第6188652号)」
静岡製作所……………田辺鷹正, 関 辰夫, 中川英知, 手塚元志

「人工衛星の自律制御装置およびプログラム(特許第6537462号)」
鎌倉製作所……………井上禎一郎, 杉田幹浩, 西川孝典

令和6年度九州地方発明表彰

福岡県知事賞

「1加圧式の吸着・噴出ステージ基板処理方法(特許第6443582号)」
パワーデバイス製作所……………松村民雄

発明奨励賞

「Wプラグ採用の高性能RC-IGBT(特許第6319057号)」
パワーデバイス製作所……………曾根田真也

「車両用空調装置のシール構造及び室内機(特許第6570374号)」
伊丹製作所……………山内雅貴
静岡製作所……………中出口真治
電子通信システム製作所……………鯨島壮平
長崎製作所……………新宮和乎
長崎電機テクニカ㈱……………山田 清

●京大生生存圏研究所

感謝状
三菱電機㈱

●Neural Information Processing Systems Foundation Inc.
NeurIPS 2024 LLM Privacy Challenge (Red Team)

「Special award for practical attack」
Mitsubishi Electric
Research Laboratories……………Ye Wang, Jing Liu
Toshiaki Koike-Akino
情報技術総合研究所……………Tsunato Nakai, Kento Oonishi
Takuya Higashi

NeurIPS 2024 LLM Privacy Challenge (Blue Team)

「Third prize」
Mitsubishi Electric
Research Laboratories……………Jing Liu, Ye Wang,
Toshiaki Koike-Akino
情報技術総合研究所……………Tsunato Nakai, Kento Oonishi
Takuya Higashi

●(一社)日本電気協会

第69回澁澤賞

「電流微候解析を用いたモータ診断機能開発チーム」
受配電システム製作所……………宮内俊彦, 安原裕登
三菱電機エンジニアリング㈱……………竹内紀夫
先端技術総合研究所……………金丸 誠
㈱ピーシーシー……………藤井文章

●神奈川県職業能力開発協会

第16回神奈川県職業能力開発促進大会 技能検定関係表彰

「技能検定関係功労者」
鎌倉製作所……………藺田正樹

●(公財)電気科学技術奨励会

第72回電気科学技術奨励賞(旧オーム技術賞)

「プリント基板穴あけ用レーザ加工機向けトランスレス高周波高電圧インバータ技術」
設計システム技術センター……………五十嵐 弘
先端技術総合研究所……………岩路寛康
産業メカトロニクス製作所……………久留島 宏
「超薄型・高効率ヘッドライトを実現するRIR光学技術の開発と実用化」
先端技術総合研究所……………諏訪勝重, 桑田宗晴
電子通信システム製作所……………今儀潤一
「電鉄・電力システムの安定稼働を支えるパワーデバイスの耐湿環境性能の向上」
パワーデバイス製作所……………増岡史仁, 附田正則, 久野みさと

●(公社)発明協会

令和6年度中部地方発明表彰 発明奨励賞

「駆動回路搭載DCモータ(特許第6858925号)」
中津川製作所……………加藤雅大, 尾崎淳一, 堀田和彦
「破損防止構造物を有する電力変換器(特許第7317243号)」
産業メカトロニクス製作所……………櫛田幸一郎, 溝口禎夫
三菱電機エンジニアリング㈱……………勝村剛浩
「高効率なコンフォーマルレーザ加工方法(特許第6451903号)」
産業メカトロニクス製作所……………工藤幸利

令和6年度四国地方発明表彰 香川県発明協会会長賞

「集合形受配電設備の電氣的接続構造(特許第6714951号)」
受配電システム製作所……………山田慎太郎, 吉田忠広
三菱電機エンジニアリング㈱……………森藤英二, 黒明慎太郎

令和6年度近畿地方発明表彰

京都発明協会会長賞

「給湯機制御装置(特許第6452855号)」

IoT・ライフソリューション新事業推進センター.....小川雄喜
新井隆司
矢部正明
小松正之
本社.....戸田明宏, 峯澤聡司

兵庫県発明協会会長賞

「モータの小型化に適した固定子形状(特許第6309178号)」

先端技術総合研究所.....中村雄一郎, 山口信一
名古屋製作所.....長谷川治之

和歌山県発明協会会長賞

「モータ回転子原価低減構造(特許第6498315号)」

冷熱システム製作所.....藪内宏典
三菱電機エンジニアリング(株).....小林慎二

発明奨励賞

「運転者頭部姿勢推定方法(特許第7254238号)」

先進応用開発センター.....虎間亮介, 丸谷宜史
コニカミノルタ(株).....吉田啓太

「室内環境に応じて気流制御する空気調和装置(特許第6790220号)」

先端技術総合研究所.....三輪祥太郎
静岡製作所.....廣崎弘志, 岡崎淳一

「鉄道事業者向け設備監視システム(特許第7262405号)」

神戸製作所.....小島康治

「電動車向けコンバータ用ノイズフィルタモジュール(特許第6716025号)」

姫路製作所.....瓜生勇太

「高周波信号を扱う電子部品の放熱構造(特許第5698894号)」

コミュニケーション・ネットワーク製作所.....久津摩勇人
設計システム技術センター.....小林 孝

「信頼性と組立性を両立した三次元実装基板(特許第6925447号)」

設計システム技術センター.....佐々木俊介
PIMS S.A de C.V.....森本悠介

「回転電機(特許第7094378号)」

姫路製作所.....古西啓一, 亀井光一郎, 佐藤慎悟
今澤義郎, 井上真吾, 原田尚彦

Mitsubishi Electric Automotive Czech s.r.o.....滝澤拓志
Mitsubishi Electric Automotive Europe B.V.....小野拓磨

生産技術センター.....梅原良介

「封止樹脂の密着性改善パワーモジュール(特許6833986号)」

コンポーネント製造技術センター.....藤野純司, 小川翔平
パワーデバイス製作所.....石原三紀夫
メルコセミコンダクタエンジニアリング(株).....井本裕児

「電力用半導体装置(特許第6580259号)」

姫路製作所.....福 優, 石井隆一, 山田隆行
コンポーネント製造技術センター.....別芝範之, 三井貴夫

「高精度角度補正によるモータ静音・高出力化(特許第5762622号)」

先端技術総合研究所.....森 辰也, 小島鉄也
姫路製作所.....金原義彦

「圧縮機振動の自動軽減制御付き駆動装置(特許第6537725号)」

先端技術総合研究所.....高橋健治
住環境研究開発センター.....有澤浩一
静岡製作所.....鹿嶋美津夫

「トルク変化率が可変の電気車推進制御(特許第6570769号)」

伊丹製作所.....松田光太郎, 角井伸翼

「高度セキュリティ監視制御システム(特許第5911439号)」

電力システム製作所.....深見健太, 稲葉隆太

「車載変圧器(特許第4523076号)」

系統変電システム製作所.....野田敏広, 木内浩司
先端技術総合研究所.....松田哲也

「信頼性と組立性を両立した三次元実装基板(特許第6925447号)」

設計システム技術センター.....佐々木俊介
冷熱システム製作所.....森本悠介

「深宇宙探査機と通信するための追尾制御装置(特許第6686944号)」

電子通信システム製作所.....西原秀信, 吉田武司, 堀本正伸

●IEEE Microwave Theory and Technology Society Japan/Kansai/Nagoya Chapters

IEEE Microwave Theory and Technology Society Japan Young Engineer Award

「Quasi-Physical Equivalent Circuit Model of RF Leakage Current in Substrate Including Temperature Dependence for GaN-HEMT on Si」
情報技術総合研究所.....山口裕太郎

Michiyuki Uenohara Memorial Award

「Quasi-Physical Equivalent Circuit Model of RF Leakage Current in Substrate Including Temperature Dependence for GaN-HEMT on Si」
情報技術総合研究所.....山口裕太郎

●(特非)エコデザイン推進機構

エコデザイン・プロダクツ & サービス 2024シンポジウム (EcoDePS2024) ベストポスター賞

「シュタッセルベルグゲームによる再生プラスチックの利用義務化がメーカーとサイクラへ与える影響の理論検討」
情報技術総合研究所.....榎 裕翔
東京大学.....木見田康治

●(一財)日本緑化センター

令和6年度緑化優良工場等表彰 日本緑化センター会長賞

静岡製作所 群馬工場

●(一社)電子情報通信学会

第5回EMC設計対策コンテスト 最優秀賞

「Star Guideに対するEMC設計・対策」
情報技術総合研究所.....亀山優希, 神谷直季

OCS研究会論文賞

「4096値固有値変調信号の1200km伝送実験」
大阪大学.....原田遼太郎, 久野大介, 丸田章博, 三科 健
情報技術総合研究所.....吉田 剛

●日本鉄道サイバネティクス協議会

第61回鉄道サイバネ・シンポジウム論文優良賞

「車輪踏面鏡面化対策への取り組み-車輪踏面鏡面化抑制制御による滑走発生頻度の減少-」
東武鉄道(株).....間伸祥司, 齊藤洋平
本社.....大橋 聡

伊丹製作所.....松井 崇
上田プレーキ(株).....小河清浩, 金子哲也

●(一財)FA財団

FA財団論文賞

「Parameter identification for linear model of the milling process using spindle speed variation」
産業メカトロニクス製作所.....高幣一樹

●CIGRE

Study Committee A3 2024 Paris Session Best Papers Award

「Long operational experiences of medium-voltage solid-insulated switchgears」

系統変電システム製作所.....前納 寛
東京電力パワーグリッド(株).....石川夕貴

関西電力送配電(株).....糸谷亮祐
東芝インフラシステムズ(株).....丹羽芳充
(株)日立産機システム.....白井寛之

●(株)日刊工業新聞社

十大新製品賞 本賞

「三菱電機リニアトラックシステムMTR-Sシリーズ」
三菱電機(株) 代表執行役 執行役社長.....漆間 啓

●German Design Council

German Design Award 2025 Winner

「Bread Oven」
統合デザイン研究所.....伊藤大聡, 四津谷 瞳, 梶島山青
安田倫子, 武井堯子

●(一財)省エネルギーセンター

2024年度(令和6年度)省エネ大賞【製品・ビジネスモデル部門】

資源エネルギー庁長官賞(建築分野)

「住宅内の温熱環境改善, 省エネ, 生活の質向上を実現するマルチエリア空調「Good Share !」」

三菱電機㈱

省エネルギーセンター会長賞

「人の感情を推定し快適性と省エネ性を高めたルームエアコン「霧ヶ峰Zシリーズ」」

三菱電機㈱

●(公社)精密工学会

ICPE2024 Outstanding Paper Award

「Development of Simulation technique for Milling Process Superimposing Oscillation on the Feed Motion」

産業メカトロニクス製作所……………高幣一樹

●兵庫県産業労働部

令和6年度兵庫県青年優秀技能者表彰

第2部門(金属加工関係)

「板金工」

伊丹製作所……………芦内達哉

「NC旋盤工」

電子通信システム製作所……………井上雄太

第3部門(その他の金属加工及び金属溶接・溶断, めっき関係)

「製缶工」

神戸製作所……………雁木智士

「アーク溶接工」

伊丹製作所……………伊東 優

第5部門(電気機械器具組立・修理及び電気作業関係)

「開閉制御機器組立工」

系統変電システム製作所……………大森一史

「配電盤・制御盤組立・調整工」

伊丹製作所……………山下翔平

「電気機械部品組立工」

電子通信システム製作所……………内田真也

「無線・有線通信機器組立工」

電子通信システム製作所……………長山 陸

「電子機器用高密度モジュール組立工」

電子通信システム製作所……………翁田浩司

●兵庫県職業能力開発協会

職業能力開発関係表彰

「技能検定補佐員」

電子通信システム製作所……………加藤大志郎

●(公社)兵庫工業会

令和6年度職域における創意工夫者表彰

会長賞

「組立作業の安全確保と作業時間の改善」

電子通信システム製作所……………高尾千賀子

「組立作業後の配線チェック作業の改善」

電子通信システム製作所……………林 和磨

「酸洗部品の吊りワイヤー切断作業の改善」

電子通信システム製作所……………辻谷星梨

「設備点検作業時間の改善」

電子通信システム製作所……………瀬戸勝彦

「送信電力増幅器の作業効率化の改善」

電子通信システム製作所……………中原 理

知事賞

「電子図面用モニタフレームの考案」

電子通信システム製作所……………中野航輝

「防水シール作業の改善」

電子通信システム製作所……………松尾拓紀

三菱電機株式会社