

平成25年度実施方針

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：

(大項目) 超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発

2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ニ

3. 背景および目的・目標

クラウドコンピューティングの進展によりデータセンタなどにおける情報処理量や通信トラフィックが指数関数的に増大しており、今後も情報量の増大が予測されている。現状技術の延長ではデータ伝送に係る電力消費量は増加し続け、平成37年には4倍の2500億 kWh（現在の国内電力消費量全体の4分の1）に膨らむと見込まれている。このため、情報処理機器・装置の低消費電力化と高速化を両立できる革新的技術の開発を進める必要がある。

電子機器に用いられている電気配線では、データ伝送量や伝送距離の増加に伴い信号伝送の損失が大きくなるのに対して、光配線によるデータ伝送では、それらが増大しても損失は一定であり、消費電力の増加は極めて小さいというメリットがある。そのため、光配線技術は半導体分野の主要なグローバル企業が次世代のデータセンタなどの低消費電力化・高速化技術として有力視しており、開発競争が繰り広げられている。

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクトの一つとして実施され、情報通信機器の省電力化と高速化を目的に、電子機器の電気配線を光化する光配線技術と電子回路技術を融合させた光エレクトロニクス実装システム技術を実現する基盤技術を確立することを目指すものである。

本研究開発により、世界市場の約5割を占めてきた光半導体分野における我が国産業界の国際優位性を維持するとともに、光エレクトロニクスを用いた新たなコンピューティング市場において我が国が競争力を獲得し、さらには半導体産業、回路基板産業やそれらをシステム化したサーバ、ルータ等の情報通信機器産業など幅広いエレクトロニクス産業の活性化にも資する。

本研究開発は、光エレクトロニクス実装基盤技術と、光エレクトロニクス実装システム化技術の2項目に大きく分けて実施する。具体的には、光導波路、光変調器や受光器等をシリコン上に高密度集積した光電子集積インターポーザ、ポリマー光配線と電気配線を形

成した光電子ハイブリッド回路基板の作製技術や必要となる光および電子デバイス技術、そしてそれらを統合的に設計するための光エレクトロニクス統合設計環境の整備と目的性能を大きく高める革新的デバイスの開発を光エレクトロニクス実装基盤技術として行い、光電子融合サーバ等、それぞれの目的に最適なアーキテクチャの明確化、関連する信号処理技術等の開発を光エレクトロニクス実装システム化技術で実施する。これらの技術開発により、電子機器のデータ伝送に関して、電気配線を用いる場合に比べて1/10の低消費電力化と通信速度あたりの面積比で1/100以下の小形化を実現し、電気配線を用いたサーバボードと比較して消費電力を3割削減でき、データセンターレベルでの運用が可能な光電子融合サーバを実現するための構成要素技術を確立するとともに、事業化に必要な国際標準を獲得することを目標とする。また、開発成果の一部は研究開発の進捗に合わせ、順次、実用化し、光配線と電子回路を融合させた光エレクトロニクス市場の創出と開拓を目指す。

【委託事業】

研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

【中間目標】(平成26年度末)

小型の高速・低消費電力光トランシーバと数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立する。

【最終目標】(平成29年度末)

5cm×5cm程度の光電子ハイブリッド基板上にLSIを搭載するモジュール化技術を確立し、LSIモジュールでの高速光インターコネクトを実現する。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

【中間目標】(平成26年度末)

光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現するための基盤要素技術を確立する。また、低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立する。

【最終目標】(平成29年度末)

多数の光素子を集積した光電子集積インターポーザの大容量伝送を実現するための基盤集積技術を確立する。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

【中間目標】(平成26年度末)

100Gbps動作に対応するDSP-LSIと集積光送受信デバイスの試作を行い、基本性能評価と問題点の抽出を行う。

【最終目標】（平成28年度末）

低消費電力DSP-LSI最終プロトタイプを実現するとともに、データセンタ間通信向け低消費電力100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実証するための要素技術を確立する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術

【中間目標】（平成26年度末）

マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行うための基本的なフローの実証を行う。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立する。

【最終目標】（平成29年度末）

光デバイス設計用電子・光連携TCADと光電子集積インターポーザの設計を可能とする統合設計環境を連携させ、基本実装構造に関するデータベース（デザインキット）を整備し、光電子集積インターポーザを効率的に設計可能とする。

(ii) 革新的デバイス技術

[革新的光源・光検出器技術]

【中間目標】（平成26年度末）

温度安定シリコン上量子ドットレーザの基盤技術開発を進め、シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現する。また、超高感度受光器の基盤技術として受光器における暗電流抑制効果を実証する。

【最終目標】（平成29年度末）

光電子集積サーバ用の集積化光源への展開に向け、量子ドットレーザアレイを実現するとともにシリコン系基板上に直接成長した量子ドットレーザを試作する。また、導波路型受光器における暗電流抑制技術を実現する。これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光変調器技術]

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバに使用する光電子集積インターポーザの光変調器の超小形化を可能とする新原理に基づく変調器として、10Gbps程度の高速動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

超小型高速変調器としてLN変調器を凌駕する実用性能を得る。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光配線技術]

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積サーバの配線密度を飛躍的に高めることできる3次元光配線技術において、層間方向への伝搬機能が可能であることを実証する。

【最終目標】（平成29年度末）

3次元光配線技術として垂直方向と水平方向の伝搬機能の統合を実現する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

【中間目標】（平成26年度末）

ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行うとともに複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

異なる機能の光回路を同一回路基板上に集積し、光FPGAコンセプトを実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

[革新的光スイッチングデバイス技術]

【中間目標】（平成26年度末）

サーバ回路におけるデータ通信の高効率化を可能とする導波路クロスバー型をベースとした超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証するとともに、超高速光信号処理デバイス実現にむけた基本的な論理動作を実現する。

【最終目標】（平成29年度末）

光スイッチマトリクス of 低電力化、光信号処理デバイスの10Gbps程度での動作を実証する。また、これらの検討を通じて、光電子集積サーバ技術への技術展開の見通しを示すとともに事業化に対する課題を明確化する。

研究開発項目②「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

【中間目標】（平成26年度末）

光電子集積技術を最大限に活かすために光インターコネクションに要求される伝送スペック（変調速度、多重度、チャンネル数など）、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明らかにする。また、光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基板からなるハイブリッド型の光インターフェース付きSSDを試作し、標準ストレージインターフェースによる光接続動作を検証する。

【最終目標】（平成29年度末）

光電子集積サーバボードにおける伝送機能の主要部分からなる送受信部を試作し、要求スペックを満たす光伝送を実証する。また、光電子集積インターポーザに積層型のストレージチップを実装した光インターフェース付SSD技術を確立する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

【中間目標】(平成26年度末)

小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル(AOC)を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。また、標準化動向を考慮しながら、光トランシーバとロジックLSI間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定する。

【最終目標】(平成29年度末)

LSIと光トランシーバの接続構造を決定する。また、策定した設計基準に基づき既存ロジックLSIを搭載できる基板を設計・試作し、光ケーブルを用いたLSI搭載基板間光接続を実現する。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

【中間目標】(平成26年度末)

一次試作の光デバイスおよびDSP-LSIを用いたトランシーバを試作し、デバイス制御動作を検証するとともに改良・完成度向上に向けた指針・フィードバック事項を抽出する。

【最終目標】(平成28年度末)

抽出した技術課題を解決し、目標である小型、低消費電力を満たす100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバを実現する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

【中間目標】(平成26年度末)

シリコン光導波路による波長合分波器を用いて1.25Gbpsの一芯双方向光トランシーバを実証する。

【最終目標】(平成29年度末)

シリコン光導波路による双方向多重用合分波器と波長多重用合分波器を組み合わせ集積試作し、一芯双方向波長多重動作をシリコンワンチップ上で実証するとともに、企業間ネットワーク向け波長多重合分波器実用化のための要求課題を抽出し、解決の目処を得る。

(ii) 国際標準化

【中間目標】(平成26年度末)

光インターコネクタに関する標準化団体(OIF(Optical Internetworking Forum)、IEEE802.3(Next gen 100G Optical Ethernet Study Group))に参画し、「キーメンバーコミュニティ」におけるプレゼンスを確立する。また、100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバに関する標準化を推進する。

【最終目標】（平成29年度末）

本プロジェクトの成果である光実装部品における各種インターフェース等の標準化提案活動を行い、実用化する開発成果の事業化に必要な標準の提案を行う。

4. 事業内容及び進捗(達成)状況

東京大学 生産技術研究所 教授 荒川 泰彦をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。なお、平成24年度は経済産業省の執行の下で事業を実施した。

4. 1 平成24年度 事業内容（経済産業省執行）

研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

小型集積光トランシーバに関し、光源、駆動回路の高速動作を実現するための配線及び全体の実装方式を検討し、低コストかつ高密度化を可能とする光と電気の入出力構造の設計を完了した。また、これを実現するための要素技術として、狭ピッチ、多チャンネルでの光ファイバとの結合構造などを試作するとともに、光素子駆動用電気回路の設計を行い、駆動方式と合わせて開発方針を明確化した。

光電子ハイブリッド基板に関し、ポリマー光配線回路の小形化設計と1次試作・評価を行った。基板外部との光信号結合技術としてCu金属ミラーによる高反射特性を実現し、45°ミラー構造による面出射を確認した。高実装トランス光結合構造については、詳細設計から試作方針を固めた。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

光並列化技術、光波長多重化技術に関しては、変調器、受光器、合分波器の一部試作を開始し、レーザ発振を確認するとともに、1芯双方向伝送では、基本分波特性を確認した。

高精度加工プロセス技術に関しては、ArF露光プロセスにおける精度確認を行い、課題を抽出した。ウエーハレベルでの光素子評価を可能とするプローバの基本設計を完了するとともに、ベース機の導入を完了した。低コストシリコンインターポーザ技術に関しては、課題抽出を行うとともに、試作に適用する材料、構造、プロセスの検討を進めた。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

省電力デジタルコヒーレント光トランシーバ実現のための信号処理回路における基本技術の設計と評価を完了し、DSP-LSIの低電力化にめどを付けた。また、光による狭帯域化伝送の基本技術の設計を完了するとともに、光回路における基本設計と課題の抽出を完了した。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術

光、電気、熱、応力等の設計解析ツールが連携した、マルチフィジックスに対応した光エレクトロニクス実装システム統合設計開発環境の構築に必要なハードウェア、ソフトウェアなどの整備を進めた。また、3次元TCADとFDTD法を組み合わせた連携光デバイス設計ツールの開発を進めた。

(ii) 革新的デバイス技術

[革新的光源・光検出器技術]

シリコン上集積量子ドットレーザ技術に関し、量子ドットの形成、レーザ形成プロセスにおける課題抽出、および、温度特性解析評価系の構築を完了した。また、Ge受光器における暗電流低減の指針を得るため、リーク電流成分の評価を実施した。(東京大学)

[革新的光変調器技術]

ナノ光制御デバイスに関しては、位相調整器やパワー調整器を集積化することで、フォトリソグラフィを利用した光変調器の高性能化のための設計指針を明らかにした。(横浜国立大学)

[革新的光配線技術]

ナノスケール光配線技術に関しては、雰囲気制御や新共振器構造を検討することにより、光パルスバッファリング機能特性の向上の可能性を明らかにした。(京都大学)

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

機能可変型光エレクトロニクス回路基盤技術に関しては、化合物/Siハイブリッド部とSi導波路部の結合構造に関して検討し、100 μ m以下の長さで99%以上の結合効率を実現する構造の設計を完了した。(東京工業大学)

[革新的光スイッチングデバイス技術]

ハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術に関しては、全反射型による小型シリコン細線光スイッチ構造を考案し、化合物半導体によるノンブロック4 \times 4構造を実現した。(早稲田大学)

研究開発項目②「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

CPU間の光インターコネクタに関して、ハイエンドサーバ用インターコネクタに用いられる光デバイス、ドライバ、実装方法などに要求されるスペックを技術調査などにより予測し、実現のための課題を抽出した。CPU/ボード間の実装構造に関して、電気回路、光回路構造、素子冷却等のシミュレーションを行うとともに、伝送特性、微細接続評価用TEGによる評価を実施した。また、CPU/記憶素子

間のインターコネクタの設計・試作に関し、標準ストレージインターフェースに対応する仕様を明確化した。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

光トランシーバの実装構造に関し、微細接続検討用 I C を設計し、T E G を用いた伝送特性評価を実施した。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

1 0 0 G b p s デジタルコヒーレント光トランシーバ実現に向け、送信部の要求特性を明確化するとともに変調器制御方式を決定した。また、トランシーバ小形化に向けた構成部品に対する要求仕様を検討し、目標サイズを実現できるトランシーバの基本設計を完了した。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

一芯双方向光トランシーバ実現のための要素光デバイスに関する課題を整理し、それぞれに必要な仕様への落とし込みを完了した。また、それらのデバイスを駆動するためのドライバ回路の設計を完了するとともに利得結合型 D F B - L D 光源を試作し、基本特製の評価を完了した。

(ii) 国際標準化

O I F において標準化活動を実施し、小型光トランシーバ等に関する寄書を 1 2 件、行った。

4. 2 実績推移

	平成 2 4 年度
	委託
実施額推移	0 (N E D O)
需給勘定(百万円)	2, 8 0 0 (経済産業省)
特許等出願件数 (件)	2 0
論文発表数 (報)	7
フォーラム等 (件)	1

5. 事業内容

東京大学 生産技術研究所 教授 荒川 泰彦をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成 2 5 年度 (委託) 事業内容

研究開発項目①「光エレクトロニクス実装基盤技術の開発」

(i) 実装基盤技術

(a) 光エレクトロニクス実装技術

小型集積光トランシーバに関して、光素子駆動電子回路の仕様を確定し、集積デバイス技術開発と連携して集積光トランシーバの試作を行い、信号伝送動作を実証する。また、伝送性能を損なわず低消費電力化を実現するための課題と最適仕様の抽出を行う。光電子ハイブリッド回路基板技術の開発に関し、低損失ミラー、高トレランス実装実現のための設計技術の高度化を行うとともに、そのためのポリマー光配線形成プロセスの最適化、ポリマー光回路技術を確立する。

(b) 光エレクトロニクス集積デバイス技術

実装技術開発と連携して集積光トランシーバの試作に必要な光回路の仕様を策定し、その回路を試作する。また、大容量信号伝送を実現するための最適な素子構造、方式を検討し、課題を抽出する。シリコン導波路とシングルモード光ファイバとの高効率結合技術を検討し、量産に必要な技術課題を明確化する。また、ウエーハプローバによるウエーハレベルでの導波路やパッシブ素子の評価手法を確立する。低コスト化技術に関しては、狭ピッチ配列での光伝送等を実証するとともに小型集積化の実現に向けた課題抽出を行う。

(c) 光エレクトロニクスインターフェース技術

平成24年度に検討した技術を統合化したDSP-LSIを試作し、課題を抽出する。また、平成24年度に検討した光デバイスの基本設計に基づいた光モジュールを試作し、仕様の詳細化と改良設計を完了する。

(d) 光エレクトロニクス回路設計技術

光、電気、熱、応力等の設計解析ツールが連携した、マルチフィジックスに対応した光エレクトロニクス実装システム統合設計開発環境の構築に必要なハードウェア、ソフトウェアなどの整備を完了する。そして、光トランシーバにおける光デバイス設計のための光・電子連携TCAD開発を進め、TCADとFDTD解析の連携を可能とするとともに、実装システム設計の基本的フローの検討を行う。

(ii) 革新的デバイス技術

[革新的光源・光検出器技術]

シリコン上集積量子ドットレーザ技術に関し、シリコン導波路結合型量子ドットレーザの試作、および、量子ドットレーザの詳細な温度特性を評価し、課題の抽出を行う。また、Ge受光器における暗電流低減を実現するためのプロセス技術、およびSi基板への集積技術を検討し、表面入射型Ge MSM受光器において暗電流低減効果を実証する。(東京大学)

[革新的光変調器技術]

光変調器技術に関し、動作電圧2V以下での高速変調(10Gbps)、温度無依存動作を実証するための課題抽出とそれに基づく構造設計を行う。(横浜国立大学)

[革新的光配線技術]

3次元光配線基板技術の開発においては、3次元フォトニック結晶内で層間方向に光を効率よく、かつ広帯域に伝搬できる導波路の構造を探索する。また、光パルスバッファリング機能の保持時間を向上させるため、2次元フォトニック結晶共振器表面の制御および新共振器構造の機能実証を行う。(京都大学)

[革新的光エレクトロニクス回路技術]

InPハイブリッドレーザにおいて平成24年度に見出した高効率導波路結合技術に立脚し、 $1\text{ kA}/\text{cm}^2$ の低閾値電流密度、副モード抑圧比30dB以上の単一モード発振を実現するための構造、および光増幅器アレイの集積加工技術を検討する。(東京工業大学)

[革新的光スイッチングデバイス技術]

全反射型小型シリコン細線光スイッチによる $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の小型光スイッチを試作し、 20 mW 以下でのスイッチング動作を実証する。また、SOAとフィルタによる 1 Gbps での基本光論理動作を実現する。(早稲田大学)

研究開発項目②「光エレクトロニクス実装システム化技術の開発」

(i) システム化技術

(a) サーバボードのシステム化技術開発

試作する集積光トランシーバ、実装評価用テストチップを用いて、各種特性評価を行い、集積光トランシーバを実現するための要件を抽出し、仕様を決定する。CPU間光インターコネクタに関し、CPU間接続方式の概念設計を完了し、一部試作を行うことで詳細な技術課題を明らかにする。また、CPU/記憶素子間の光インターコネクタに関し、標準ストレージインターフェース(SATA)での信号伝送を実現する。

(b) ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発

集積光トランシーバを搭載したAOCを想定した電気回路シミュレーションを実施するとともにTEGによる評価との比較を行い、集積光トランシーバのAOCへの適用条件を明確化する。

(c) データセンタ間接続機器のシステム化技術開発

平成24年度に完了した光トランシーバの基本設計に基づき、各要素の詳細設計を実施する。また、構成要素デバイスの仕様化を行うとともに、試作DSP-LSIを用いた光トランシーバを試作し、デジタルコヒーレント光トランシーバシステムとしての各要素技術の基本動作確認と実現性を実証する。

(d) 企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発

小型一芯双方向光トランシーバ実現のための各要素デバイスを試作・評価し、平成24年度に明らかにしたデバイス仕様を照らして適用の可能性を検討する。これによ

り、残る技術課題を明確化する。

(ii) 国際標準化

O I Fにおいて、小型光トランシーバ等に搭載する光部品の標準化活動として寄書提案を行うとともに、100Gbps デジタルコヒーレント光トランシーバの標準化を目指す。合わせて、各団体、組織等における標準化のための情報を収集する。

5. 2 平成25年度事業規模

	委託事業
需給勘定	2, 375百万円（新規） （事業規模については変動がありうる。）

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

N E D Oは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来産業への波及効果等について、事業項目毎に、外部有識者による研究開発の中間評価を平成26年度に実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するN E D Oは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

7. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成25年3月制定。

