プレスリリース

慶應義塾大学　Otsuka 大塚電子株式会社

2026 年 11 月 6 日

報道関係者各位

慶應義塾大学
大塚電子株式会社

光電融合の実用化を加速「実導波路形状」での屈折率測定技術を開発

―樹脂・ガラスの温度特性を精密に評価、CPO/次世代デバイスの設計精度向上に貢献―

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科　石榑崇明教授，山岸泰輝（修士課程 2 年），久家康太郎（学部 4 年生）らの研究グループは，大塚電子株式会社との共同研究により、光学ガラスや光学樹脂材料の屈折率を高精度に測定する技術を開発しました。特に、「実導波路形状」のまま破壊することなく屈折率の温度依存性を測定できる手法の確立は、これまで困難だったデバイス動作時の正確な特性把握を可能にする画期的な成果です。本技術の実効性を示す一例として、温度変化の影響を受けない「アサーマル光導波路」の実証にも成功しており、今後の光電融合モジュールの開発・品質評価を大きく加速させます。本研究成果は、11 月 10～12 日に立命館大学朱雀キャンパスにて開催される国際会議 IEEE CPMT Symposium (ICSJ2026) にて論文発表されるとともに、大塚電子株式会社の展示ブースにてデモンストレーション展示が行われます。

1. 本研究のポイント

・実形状・非破壊での測定技術を確立
光電融合（CPO）への応用が期待される樹脂製もしくは無機ガラス製光導波路に対し、従来のフィルム状やプリズム状への加工を必要とせず、「実際の導波路形状」のまま非破壊で屈折率およびその温度依存性を高精度に測定する技術を確立しました。

・温度変化に強い「アサーマル（温度無依存）光導波路」を実証
本測定技術を活用し、コアとクラッドの樹脂材料の組み合わせを最適化することで、25～75℃の温度範囲で光スポット径が変動しない温度無依存（アサーマル）な樹脂製光導波路の開発に成功しました。

・多角的な材料・プロセス評価への展開
本測定手法は樹脂のみならず光学ガラス等にも適用可能です。今後は可視光を透過しにくいシリコン等の材料への適用に向けた技術開発も進めています。

2. 研究背景

生成 AI の急速な発展に伴い、データセンター（AI ファクトリー）等における通信の大容量化・高速化が急務となっています。これに伴い、半導体集積回路（EIC）の近傍に光信号の送受信器となるシリコンフォトニクスチップ（光集積回路：PIC）を近接配置する Co-Packaged Optics（CPO）※1 技術の開発が活発化しています（図 1(a)）。CPO は次世代の光電融合を代表する技術であり、PIC からの信号入出力密度を高め、より高速な伝送を可能にするために、樹脂や無機ガラスによる光導波路デバイスの活用が期待されています。光導波路は、光信号を閉じ込める伝送路である「コア（高屈折率）」を

「クラッド（低屈折率）」で覆った構造をとります（図 2）。このコアとクラッドの屈折率差（Δn）は、光を効率よく閉じ込める強さ（光スポット径）を左右する重要な指標です。CPO の高密度化では、極めて小径（2〜3μm 程度）のコアに光を閉じ込める必要があるため、高い Δn が得られる材料の組み合わせが求められています。

CPO では、樹脂やガラス製光導波路は PIC と光ファイバの間に挿入して使用されることが想定されています（図 1(b)）。しかし、動作時の PIC は最大 100 ℃程度までの温度が上昇する可能性が高いため、間に挿入される光導波路にも高温下での安定した動作（耐熱性）が必須となります。一般に光学材料の屈折率は温度によって変化するため Δn（光閉じ込め効果≒スポット径）の温度依存性の把握が極めて重要です。

従来、材料の屈折率やその温度依存性を測定するには、材料単体を板状やフィルム状、プリズム状などの専用形状に加工する必要がありました。そのため、実際に素子として機能する「実光導波路状態」のままでの Δn およびその温度依存性を高精度かつ非破壊で測定する技術の確立が強く望まれていました。

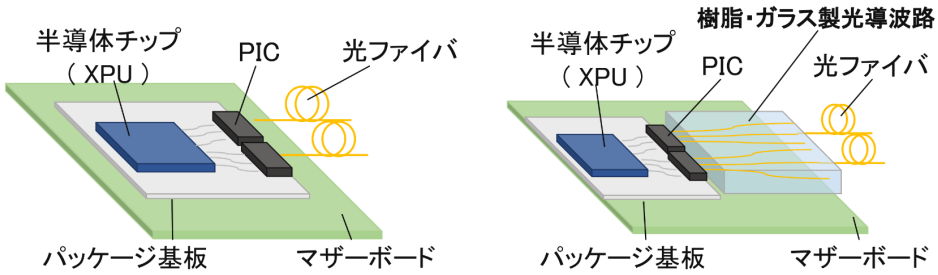


図 1 (a) PIC と光ファイバをレンズなどを用いて繋ぐ Co-Packaged Optics の低密度実装形態（現状）
(b) 導波路素子による低損失・高密度光配線を実現する Co-Packaged Optics の実装形態（将来像）

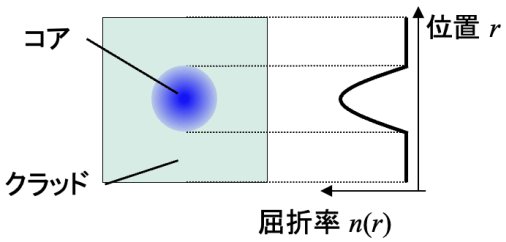


図 2 モスキート法で作製される屈折率分布型円形コア光導波路の構造

3. 研究内容・成果

本研究グループは、大塚電子株式会社が保有する「光波動場三次元顕微鏡（3D-OWFM、製品名：MINUK）※2」を応用しました。OWFM は、光の波の全情報（光波動場）を利用し、透明な試料内部や表面を非破壊・非接触で 3 次元測定できる技術です（図 3 参照）。従来は主に、内部の欠陥や表面の微細凹凸の可視化に用いられていました。

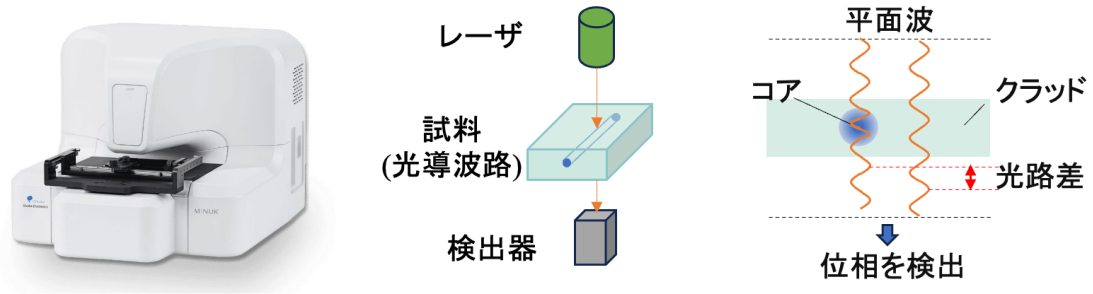
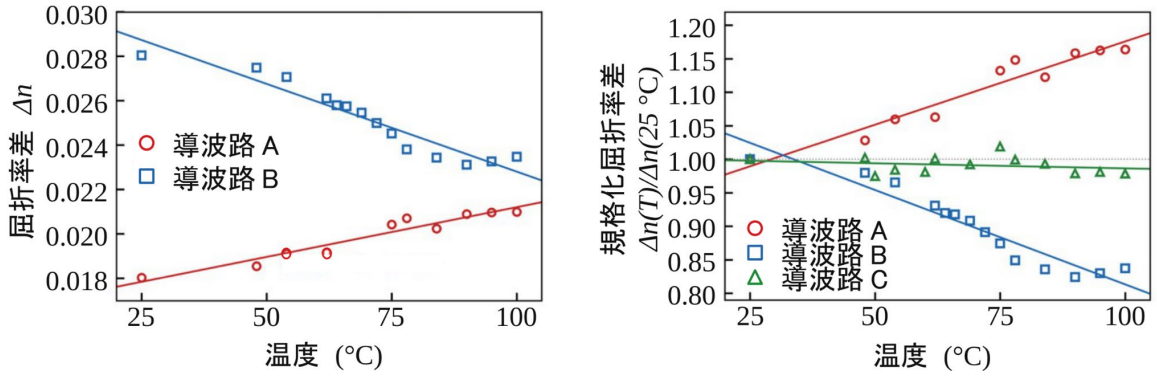


図 3 光波動場三次元顕微鏡（3D-OWFM, MINUK）と光が試料を透過する測定の模式図

本研究では、3D-OWFM が透明試料内部の「屈折率の 3 次元分布」を検出している点に着目しました。慶應義塾大学が開発した「モスキート法※3」により作製された円形断面コアを有する樹脂製光導波路の内部屈折率分布測定に適用し、「実導波路形状」のまま Δn を直接計測することに成功しました。さらに、測定時に試料を加温することで、Δn の温度依存性（$d(\Delta n)/dT$）の評価手法を確立しました。この手法を用いて、異なる樹脂材料を組み合わせた 2 種類の導波路（導波路 A：コア A/クラッド A、導波路 B：コア B/クラッド B）を評価したところ、導波路 A は正の $d(\Delta n)/dT$ を、導波路 B は負の $d(\Delta n)/dT$ を示すことが判明しました （図 4(a)参照）。

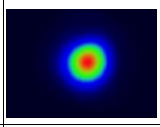
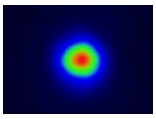
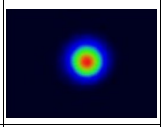
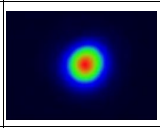
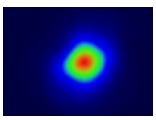
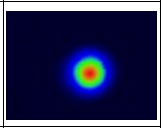
この知見に基づき、新たにコア B とクラッド A を組み合わせた「導波路 C」を作製して測定を行った結果、$d(\Delta n)/dT$ は導入路 A・B と比較して一桁小さく、ほぼゼロに近い値が得られました （図 4(b)参照）。実際に導波路 C を伝搬する信号光を計測したところ、25℃から 75℃の温度変化に対しても、4.2 μm の光スポット径（モードフィールド径）を安定して維持できることを確認し、樹脂製光導波路の特性の「温度無依存化（アサーマル化※4）」を実証しました（Table 1 参照）。



(a) (b)

図 4 (a) 導波路 A, B の屈折率差 Δn の温度依存性(25℃~100℃)
(b) 導波路 A, B, C の屈折率差 Δn の温度依存性．各値は 25℃ での屈折率差で規格化している．

Table 1　図 4 に示した 3 種のコア・クラッド組合せで作製したポリマー光導波路の出射光強度分布とモードフィールド径の温度依存性

導波路	A	B	C
コアからの出射光強度分布 25 °C			
モードフィールド径 25 °C	5.1 μm	5.0 μm	4.2 μm
コアからの出射光強度分布 75 °C			
モードフィールド径 75 °C	4.7 μm	5.4 μm	4.2 μm

4. 今後の展開

本研究成果をベースに、今後は以下の取り組みを進めてまいります。

・測定技術の高度化と適用材料の拡大

測定のさらなる高精度化や自動化を進め、可視光を透過しにくいシリコンをはじめとする各種半導体・光学材料への適用拡大を目指します。

・熱光学定数（d*n*/d*T*）と熱膨張係数（CTE）の同時測定手法の確立

本研究では、昇温にともなう導波路コアの体積膨張も検出できることを確認しました。この知見を活かし、3D-OWFM による材料単体の熱光学定数と熱膨張係数の同時測定手法の開発を進めます。

・液体材料および硬化プロセスの計測への展開

固体（樹脂・ガラス）にとどまらず液体材料の測定へも応用を広げ、接着剤などの液体モノマーが加温や紫外線照射によって硬化する過程（屈折率変化や硬化収縮）を観察・評価する手法を検討します。

・次世代光電融合モジュールの実用化推進

開発したアサーマル光導波路の設計技術を応用し、CPO や次世代光電融合モジュールの社会実装・実用化に向けた共同開発を強力に推進してまいります。

＜参考文献＞

R. Kinoshita and T. Ishigure, “Temperature dependence of the coupling loss between polymer optical waveguides and SMF for co-packaging,” Optics Express, 33(1), pp. 1271-1286 (2025)

・DOI: 10.1364/OE.542003

＜学会発表情報＞

学会名：IEEE CPMT Symposium (ICSJ2026)

発表演題：Single-Mode Polymer Waveguides with Athermal Mode-Field Diameter for Co-Packaged Optics

発表者：T.　Yamagishi and T. Ishigure

発表日：2026 年 11 月 10 日

学会公式サイト：https://www.ieee-csj.org/index.html

＜用語説明＞

※1　Co-Packaged Optics（CPO）：LSI（大規模集積回路）などの基板上に光変換素子（光伝送モジュール）を同一パッケージ内に高密度実装する技術。配線長を短縮し、消費電力低減と高速伝送を実現する。

※2　光波動場三次元顕微鏡（3D-OWFM）：光の振幅と位相の両方の情報を記録・解析することで、透明材料内部の構造や屈折率変化を 3 次元で非破壊観察・測定する装置。

※3 モスキート法: 慶應義塾大学で開発された、超極細ノズルを用いて樹脂液内部に別の樹脂を描画・硬化させることで、円形断面を持つ光導波路コアを精密に形成する作製技術。

※4 アサーマル化: 温度変化に伴う光学特性（屈折率や波長など）の変動を、構造や材料の特性相殺によって「ゼロ」に抑える技術。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報学科　教授　石榑 崇明（いしぐれ　たかあき）

TEL：045-566-1593　FAX：045-566-1593　E-mail：ishigure@appi.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室　TEL：03-5427-1541　FAX：03-5441-7640

E-mail：m-pr@adst.keio.ac.jp　https://www.keio.ac.jp/

大塚電子株式会社

経営企画部　TEL：072-855-8550　FAX：072-855-8557

E-mail：oeljp-keieikikaku@otsuka.jp　https://www.otsukael.jp/