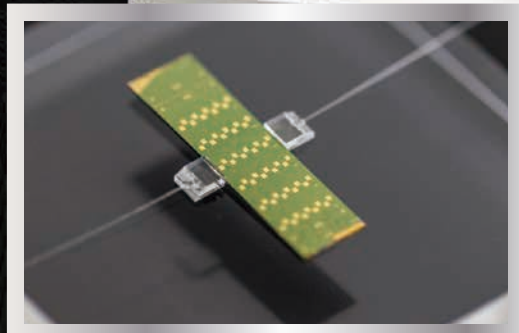
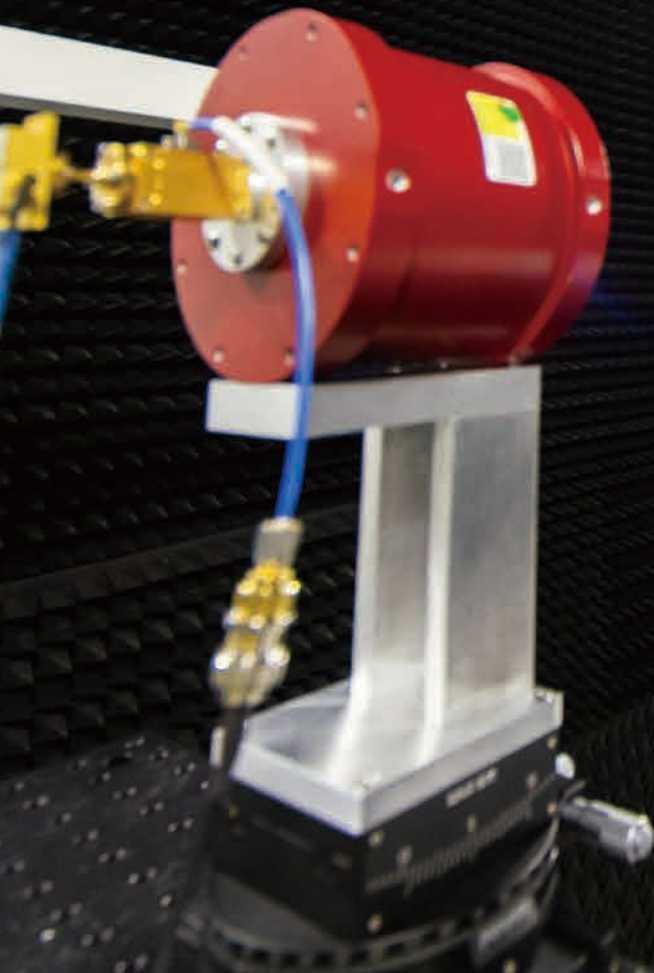


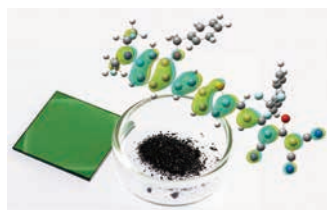
FEATURE

EOポリマーが拓く超高速光制御

座談会

有機EOポリマーで光を操る妙
通信から立体ディスプレイまで
応用に無限の可能性





表紙写真
光ファイバー無線 (Radio-over-Fiber) によるテラヘルツ無線伝送評価系。テラヘルツ波送信器 (手前) から送信されたテラヘルツ波を、放物面鏡とアンテナ結合型EOポリマー光変調器から構成されるテラヘルツ波受信器 (奥) で受信し、無線信号から光信号へ直接変換する。
右下
光ファイバー接続された150 GHz帯アンテナ結合型EOポリマー光変調器

左上の写真
有機EOポリマー
(左) 薄膜 (右下) 粉末 (右上) 分子構造

FEATURE

EOポリマーが拓く超高速光制御

座談会

- 1 **有機EOポリマーで光を操る妙
通信から立体ディスプレイまで応用に無限の可能性**
大友 明 / 山田 俊樹 / 梶 貴博 / 田中 秀吉
- 4 **光制御の新たな扉を開く短波長用有機EOポリマー**
大友 明
- 6 **EOポリマーを用いた超高速無線-光信号変換
テラヘルツ無線信号から光信号へのシームレスな変換を実現**
梶 貴博
- 8 **ポーリング済みEOポリマー膜とその積層膜作製と
超高周波電場検出への応用**
山田 俊樹
- 10 **フルカラー3Dも可能に!!
新方式3Dディスプレイを目指した
EOポリマー光フェーズドアレイの開発**
山田 俊樹 / 平野 芳邦

TOPICS

- 12 **ナノ機能集積ICT研究室を支える技術者たち**
山田 千由美 / 横濱 秀雄 / 上田 里永子

INFORMATION

- 14 **ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP) 2026出展**
- 14 **NICTオープンハウス2026開催のお知らせ**



座談会

有機EOポリマーで光を操る妙 通信から立体ディスプレイまで応用に無限の可能性

超高速通信の主役は光。光通信ネットワークで欠かせないのが、電気信号を光信号に変換する光変調器である。その性能は通信速度を大きく左右する。

現在は光変調器に無機材料を使っているため速度と性能に限界がある。この限界を超えると期待されているのが、有機EOポリマーだ。通信からディスプレイ用途まで応用範囲も広い。ただ、凄い性能を出せるだけに、開発には苦労も多いという。

今回は、有機EOポリマーの実装に向けて日夜、努力を続けている、未来ICT研究所 神戸フロンティア研究センター ナノ機能集積ICT研究室の研究者による座談会をお届けする。

田中 本日は、よろしくお願いいたします。有機EOポリマーといっても、一般の方にはイメージしづらいと思うので、まず有機EOポリマーとは何かについて簡単に説明をお願いします。

大友 有機EOポリマーとは電気光学効果を示す材料です。電気光学効果を英語でElectro-Optic effectといいます。この頭文字をとってEOポリマーと呼んでいます。電圧をかけると屈折率が変化する材料で、光通信で使う光変調器に用いられます。光通信の速度を決める重要なデバイスです。現在、光変調器は無機材料が使われていますが、速度の限界があるため有機EOポリマーが注目されています。

田中 それでは、みなさんにご自身の研究内容の紹介を含めて自己紹介をお願い

します。

大友 大学卒業後、企業で医療用の光計測装置の開発をした後、米国に留学し、光デバイスに関わる研究で博士号を取得しました。そこで有機EOポリマーに出会い、有機材料の魅力と材料開発の重要性を認識しました。

山田 大学院では、有機材料の光物性の研究を行っていました。NICTに入ってから有機EOポリマーの材料開発・評価技術開発・テラヘルツ波検出技術開発・光フェーズドアレイデバイスの研究開発を行っています。

梶 大学院ではレーザーを使って分子を測定する基礎研究を行っていました。その後、NICTに入所し、現在は有機EOポ

所属はすべて
未来ICT研究所 神戸フロンティア研究センター
(役職は2026年2月取材時のもの)



大友 明 (おおとも あきら)
ナノ機能集積ICT研究室
室長



山田 俊樹 (やまだ としき)
ナノ機能集積ICT研究室
研究マネージャー



梶 貴博 (かしたかひろ)
ナノ機能集積ICT研究室
研究マネージャー



田中 秀吉 (たなか しゅうきち)
神戸フロンティア研究センター
研究センター長

リマーを用いることで、Beyond 5G無線通信システムで重要になる、テラヘルツ無線信号から光信号へシームレスに変換するデバイスの研究開発を行っています。

■研究開発の推しポイント

田中 それでは、自分の研究でぜひここを読者のみなさんに伝えたいという「推し」のポイントをお聞かせください。

大友 有機材料は、低価格・低性能という印象が強いですが、有機EOポリマーは、高付加価値・高性能であることを知っていただきたいですね。有機材料でデバイス開発していると話すと、「安くなるでしょ」とよく言われますが、それだけで実用化になることはありません。有機EOポリマーでしか出せない性能・機能があることを強く主張したいです。

山田 私の推しポイントは、有機EOポリマー材料開発を適切に行うことにより、その特性をチューニングできる点です。例えば、光通信で用いる赤外光だけでなく、可視光で使用できる有機EOポリマー材料を開発できると、有機EOポリマー光フェーズドアレイを用いた3D映像表示などの新しい応用も開けます。

梶 私の推しのポイントは、有機EOポリマーが持つ「テラヘルツのような超高速でも動作できる」という独自の強みを活かしている点です。その特長を活かすことで、テラヘルツ無線信号を光信号へ直接変換するという、これまでにないデバイスを実現できます。

■有機EOポリマーを通信に使う

田中 “通信に有機EOポリマー”と聞くと一般の方には意外だと思いますが、最初に「これはいける!!」と思った瞬間のことを教えてください。

大友 20年程前ですが、それまでの10倍以上の性能（効率）を実際に確認した

時です。有機EOポリマーは、原理的に抜きんでて速いことがわかっていたので、私たちも新しい分子の合成に取り組んでいましたが、良い結果は得られていませんでした。そんなとき、米国のグループから高い性能を持つEO分子の発表があったのです。ただ、合成が難しく追試^{*1}が困難でした。

しかし我々の研究室に合成のエキスパートがいましたので、ほどなくEO分子を合成できまして測定したところ、驚くような数値が出ました。そこから本格的に有機EOポリマーの研究に取り組み始めました。

■有機材料はどこが優れているか

田中 無機材料と比べて有機材料の優れている点はどんなところですか？

大友 有機EOポリマーは、既存材料に比べて高速・高効率という特長があります。また設計の自由度も無限にあります。無機材料は元素の組合せで構造と性能が決まってしまうのですが、有機材料は、炭素・水素・酸素・窒素など、ありふれた元素の組合せによって様々な機能を創出できます。

山田 有機EOポリマーの優れている点は高周波電場に対する応答性です。それと、今お話しがりましたが、有機材料は無限に分子設計の自由度があるのは利点ですが、分子設計指針をきちんと持って行かないと性能の良い材料は作れないところが難しい点でもあります。反面、うまく分子設計を行えば、性能を細かくチューニングできます。

梶 デバイス開発という観点では、無機材料と比べて誘電率が低いことが大きな特徴です。超高速動作に有利であるとも

に、テラヘルツ波を受信するときのアンテナサイズを大きくできます。また、高周波と光が材料中を進行する速度の差が少ないことから、高効率なデバイスを実現できるといった利点があります。

■究極の材料開発＝分子レベル設計

田中 有機材料は、分子レベル設計が行えるという特徴があるとのことでしたが、有機材料開発について、究極と思うところは具体的にどんなところでしょうか。

山田 分子設計によって、様々な光の波長で使用できる有機EO分子を開発したり、ポリマー骨格を開発することにより、耐熱性・柔らかさ・頑強さといった両立が難しい要素を兼ね備えた材料を作ることができる点だと思います。

■デバイス開発におけるNICTの強み

田中 我々には材料開発からデバイス加工、その評価までの全工程を、自前でできる環境を持っているという強みがあります。これをもう少し具体的にお話しいただけますでしょうか。

山田 開発した材料の性能の良し悪しがすぐに評価できるので、実際にデバイスを作るときに計画を立てやすくなり、研究のスピードアップにつながります。

梶 デバイス評価までの一連のサイクルを速く回せるというのが一番の強みです。また、材料性能には様々なトレードオフがある中で、それぞれのデバイス構造や加工プロセスに最適化した材料を用いたデバイス開発を行うことができます。さらに、全工程を俯瞰して見ることで、課題がどこにあるかの発見ができるようになります。NICTで独自に開発した有機EOポリマー

の転写技術も、全工程を自前で行える環境を持っていたからこそ、着想に至ることができたのだと思います。

■研究の苦労話

田中 これまでいくつもの試行錯誤があったと思いますが、苦労話や面白いエピソードをお聞かせください。

大友 実験で悩みまくっているとき、偶然に一つのヒントに出くわすと、頭の中でイメージが一気につながる瞬間があるんですね。そんなときは脳内にアドレナリンがばっと出てくる。一度でもこの興奮を経験すると、研究は苦しいけどやめられません（笑）。

梶 何十工程もあるデバイスを1か月くらいかけて手作業で作るのですが、最後の方で一つミスをしてしまうと、始めからやり直しになります。そういう苦労の連続ですね。逆に嬉しくなるのは、実験前に計算で出した数値が実際の実験でピタッと出たときです。

■企業や大学との共同研究における優位性

田中 企業や大学と共同研究することも多いですが、NICTの特色を活かせるのはどんなところでしょうか。

大友 我々は、材料・デバイス・サブシステムまでを一気通貫で研究していますから、どの分野の企業でも、我々のところに来れば、デバイスに仕立て評価までできます。そのため開発がスピードアップします。現在、14企業・9大学と共同研究を進めています。

山田 加えて我々自身で材料に関する特許やデバイス作製のプロセス技術を多く

持っていますので、企業・大学との共同研究を進めやすいと思います。

■経済セキュリティ

田中 有機EOポリマーの合成は複雑でノウハウの塊だと思えますが、リバースエンジニアリング^{*2}で複製される心配はありませんか。

大友 有機EOポリマーは、EO効果を示す有機分子とポリマーが一体になっているので、質量分析してもEO分子がどれくらいの分子量であるかわかりません。ですから複製するのは難しいと思います。

山田 ポリマーにただけではEO効果を発現しません。ポーリング¹といって、EO分子を一方方向に並べるのですが、並べられている状態はどんなに元素分析技術が進んでもわからないと思います。

■有機材料の弱点をハイブリッド化で乗り越える

田中 有機材料には強みがあれば弱点もあると思います。それをどのように克服してきたのでしょうか。

大友 有機材料は屈折率が小さいので、デバイスが大きくなってしまいます。逆に半導体は屈折率が大きい。そこで、我々は二つを組み合わせでハイブリッド化し、小さくて高効率のデバイスの作製を進めています。また、有機材料は強い光が当たると壊れてしまうと思われがちですが、酸素がなければ壊れないので酸素を透過しない膜で覆うことで解決しています。

山田 有機材料は耐熱性がないと言われることがありますが、我々の有機EOポリマーは、一定の用途であれば十分な耐熱

性を持っています。

■今後の展望

田中 最後に、これからの3～5年程で「ここまで持っていきたい」という到達点について一言お願いします。

大友 光変調器で世界最高速を出して、光インターコネクットに実装できるまで持っていきたいですね。

山田 有機EOポリマーの使用用途が広がっているため、可視光を含め様々な波長で使える高性能な材料を開発すること、そして有機EOポリマーが広く使われるような汎用技術を開発したいと思っています。デバイスについては、有機EOポリマー光フェーズドアレイの優れた光ビーム制御特性を応用し、まったく新しい方式の3次元ディスプレイの実現につなげていきたいと考えています。

梶 テラヘルツ波を用いた無線通信の実現に向けて、デバイスのパッケージング化を目指しています。様々なテラヘルツ無線通信システムへ組み込むことで、システム実証を行い、社会実装へつなげていきたいと考えています。

田中 本日はありがとうございました。

*1 追試
ある研究結果に再現性があるかどうかを、別の研究者が様々な条件で確かめること。
*2 リバースエンジニアリング
出来上がっている製品を解析し、内部構造や動作原理を読み解くこと。

光制御の新たな扉を開く短波長用有機EOポリマー



大友 明
 (おおも あきら)
 未来ICT研究所
 神戸フロンティア研究センター
 ナノ機能集積ICT研究室
 室長
 (役職は2026年2月時点のもの)

大学卒業後、企業研究所、米国留学を経て、1996年郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。以来、有機分子フォトリソグラフィやナノフォトニクスを光制御技術に応用する研究などに従事。Ph.D. (光科学・工学)

有機EOポリマーは、近赤外光を用いた光通信システムに不可欠な光変調器をはじめとする光制御デバイス的高速化、低消費電力化を目的に開発が進められてきました。そのため、可視光などの短い波長では使用できないものと考えられてきました。私たちは、この常識を打ち破り、可視光でも高効率に変調できる有機EOポリマーの開発に成功しました。短い波長での高速高効率変調が可能になると、3次元映像取得・再生や海中光無線通信など新たな展開が見えてきます。

■背景

データ駆動型社会への変革が進み、データセンターやAIサーバーの急激な需要増加により、データ通信の根幹を担う短距離光通信システム(光インターコネクタ)の高速化と低消費電力化が喫緊の課題となっています。有機EOポリマーは、もともと長距離光通信システムの高効率化に向けて開発が進められており、Cバンド(波長1,550 nm帯)が開発ターゲットでした。しかし、光インターコネクタではOバンド(波長1,310 nm帯)が使用されます。また、私たちは、光変調器を多数並べた光フェーズドアレイ(OPA)のビームステアリング機能をLiDAR*に応用することにも着目していました。それは、自動運転の実現には小型で高速なLiDARが必要とされていたためです。空間に1 W級の高出力光を照射する長距離用LiDARでは、人の目にとって安全な波長1,550 nmの光が使われます。しかし、短距離用LiDARでは低出力光で良いため、安価なSi受光素子が使われる波長905 nmが使われます。短距離

用LiDARは、自動運転や自律型ドローンやロボットに必要なだけでなく、カメラと組み合わせれば、奥行情報を加えた3次元映像情報を撮影できます。さらに、可視光でできると、この3次元映像情報を再生する表示デバイスに応用することも可能になります。このように、Cバンドよりも短波長で高効率な有機EOポリマーは、光制御技術の応用範囲を拡大し、新たな価値を生み出す源となることが期待できるのです。

■有機EOポリマー

有機EOポリマーは、電圧をかけると屈折率が変化する電気光学効果(Electro-Optic effect, EO効果)を示します。この効果を利用して電気信号で光をON/OFF変調することができます(図1)。この光変調器は、光通信において通信速度を決定づけるデバイスです。有機分子は、大きなEO効果を示します。これは、数nmの小さな分子の中に閉じ込められたπ電子と電磁波である光の電場とが共鳴し、強い相互作用を示すためです。また、電子は非常に軽いのでこの応答は非常に高速です。それゆえ、有機分子からなるEOポリマーは、高速で低消費電力の変調が可能になるのです。有機材料は無機材料に比べて機能が劣ることが多いですが、有機EOポリマーは機能が優れている珍しい材料です。

■分子構造のチューニング

共鳴する波長では、光と強く相互作用するので光の吸収が大きくなります。また、EO効果も吸収波長に近いほど高くなります。これを共鳴効果と言います。有機分子は、分子構造を自在に設計して

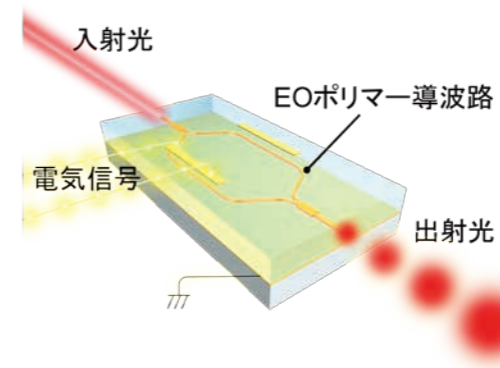


図1 有機EOポリマー光変調器

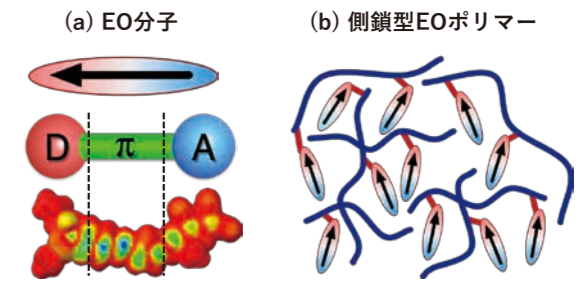


図2 有機EOポリマーの基本構造

この共鳴波長を調整することができます。有機EO分子は、電子を押し出す性質を持つ電子供与基(D)と電子を引き寄せる性質を持つ電子吸引基(A)の部分構造をπ電子が結合に沿って非局在化した共役構造で結合した、D-π-A構造が基本です(図2a)。また、EO効果は、電子供与性や電子吸引性が強い部分構造を組み合わせることで大きくなります。また、共役構造を長くすることでEO効果が大きくなります。これまで、このような指針の下にEO分子の設計を行い、開発当初の53倍も大きなEO効果を示すCバンド用有機EO分子の開発に成功しています(図3a)。しかし、分子を長くすると共鳴波長が長波長になります。図3bに示す吸収スペクトルでは、1,000 nm以上の波長では、吸収がないように見えます。しかし、変調器で使用する1 cm程度の長さにおいては、Oバンド以下の短波長では吸収損失が大きく使用できません(図3c)。そこで、短波長で使用できる有機EOポリマーを開発するには、EO係数と吸収係数のバランスをとるチューニングが重要になります。

■短波長用EOポリマーの開発

光変調器において光入出力損失を50%程度に抑えるためには、許される吸収損失は3 dB/cm程度になります。これはほんの僅かな吸収なので、ガラスに溝を掘ってそこに埋め込むことで厚い膜を作製し測定しました。Cバンド用EOポリマーの開発では、とにかくEO係数を高くすることが指標でしたが、EO係数と吸収係数はトレードオフの関係にあるため、それぞれの値だけに注目しても短い

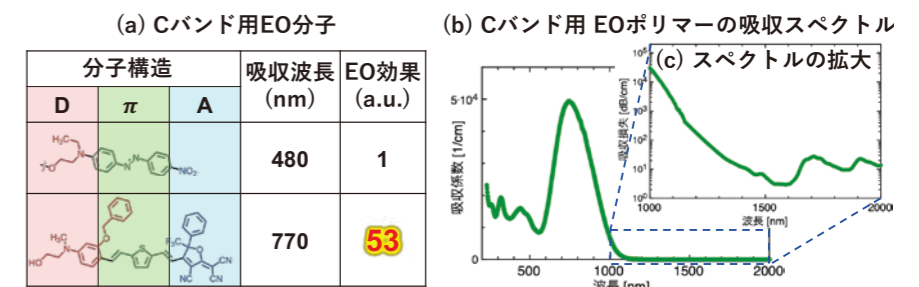


図3 Cバンド用EOポリマー

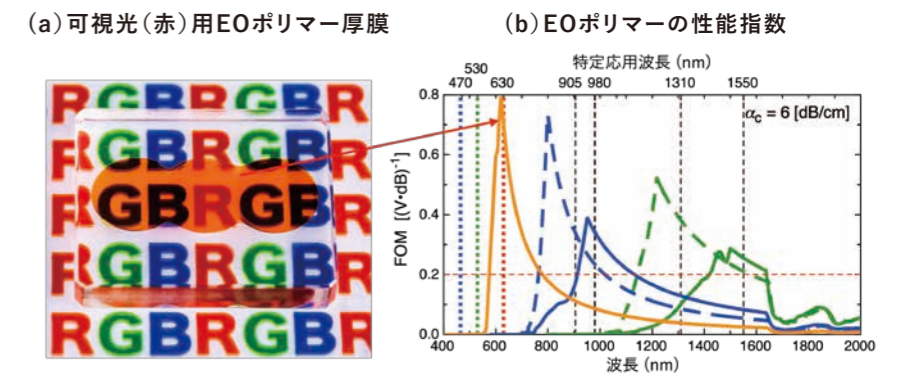


図4 短波長用EOポリマー

波長用のチューニングはできません。比較するための新たな指標が必要になります。光変調器の評価指標にLEP(Loss-efficiency product)、つまり光損失と効率の積があります。LEPには、EO性能指数(n^3r)と吸収係数(α)、波長(λ)が含まれており、材料チューニングの指標に最適です。LEPの逆数を基に有機EOポリマーの性能指数(FOM)を定義し比較することで、可視光までの様々な波長で高い効率で変調できる有機EOポリマーを開発することに成功しました(図4)。開発した可視光(赤)用EOポリマーのFOMは、Cバンド用EOポリマーの2倍以上あり、実際に光変調器を作製したところ、3倍以上の高効率変調を確認できました。

■今後の展望

有機EOポリマーは、光通信の高速化を目的に近赤外の波長で高性能化が進められてきました。しかし、可視光を含む1,000nm以下の波長で高性能な有機EOポリマーができたことで、3次元カメラや3D-ARスマートグラスなど新たな機能デバイスの実現が見えてきました。有機EOポリマーが導く未来にご期待ください。

* LiDAR
 レーザー光を照射し、反射して戻ってくるまでの時間などから対象物までの距離や形状を3次元で高精度に測定するセンシング技術。

EOポリマーを用いた超高速無線-光信号変換

テラヘルツ無線信号から光信号へのシームレスな変換を実現



梶 貴博
 (かじ たかひろ)
 未来ICT研究所
 神戸フロンティア研究センター
 ナノ機能集積ICT研究室
 研究マネージャー
 (役職は2026年2月時点のもの)

大学院修了後、グローバルCOE特任助教を経て、2009年にNICTに入所。有機光デバイスやテラヘルツ波計測などに関する研究に従事。博士(工学)。

これからの通信は、動画もデータも一瞬で届く“超高速時代”へ向かっています。その鍵となるのが、100 GHzを超えるテラヘルツ波と、その信号を光信号に直接変換できる電気光学 (EO) ポリマーという材料です。NICTでは、この技術を使って、テラヘルツ波を光へシームレスにつなぐデバイスの開発を行っており、未来の大容量通信の実現を目指しています。

■背景

Beyond 5Gでは、超高速・大容量の無線通信の実現のため、無線通信に使用される電波の周波数が100 GHz以上のテラヘルツ帯 (100 GHz~10 THz) に達することが見込まれていますが、このような高周波無線信号を電気的なケーブルで長距離を伝送することはできません。そこで、無線信号を光信号に変換して光ファイバーへ載せる光ファイバー無線 (Radio-over-Fiber: RoF) 技術が必須となります (図1)。従来は、無線 → 電気 → 光という二段階の信号変換が必要でしたが、装置が複雑化するとともに、テラヘルツ周波数で動作する電子回路が必要になるなど、高コスト化するという課題がありました。EOポリマーを使うとテラヘルツ帯の高周波無線から光の信

号変換を直接実現でき、構成を大幅に簡素化できます。また、オール光の技術であるため、これまでに培われてきた光通信の技術をそのまま適用でき、超高速・大容量の無線通信を実現できるとともに、システムへの組み込みも容易です。

■EOポリマーの転写法を用いた無線-光信号変換デバイスの開発

電圧によって屈折率が変化するという性質をもつEOポリマーは、大きなEO係数 (r_{33}) を有するとともに屈折率変化に関する性能指数が大きいという特徴があります。また、無機材料と比べて誘電率が小さいという特徴があり、高周波動作において有利であるとともに、アンテナデバイスにおいてはアンテナサイズを大きくできます。さらに、進行波型の光変調器においては、高周波電磁波と光が材料中を進行する速度の差が少ないために、それらの相互作用を大きくすることができ、高効率なデバイスを実現できます。

高周波無線信号から光信号への直接変換に関しては、海外の研究グループによって、微小な金属のギャップにEOポリマーを埋め込んだプラズモニック導波路 (金属の表面に電子の波を作って光を運ぶ) 型のデバイスが提案されており、300 GHzに近い周波数での無線伝送が報告さ

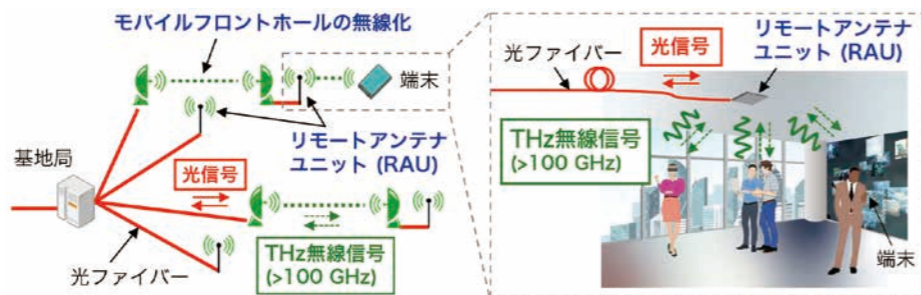


図1 Beyond 5Gにおけるテラヘルツ波を用いた光ファイバー無線 (RoF) の模式図

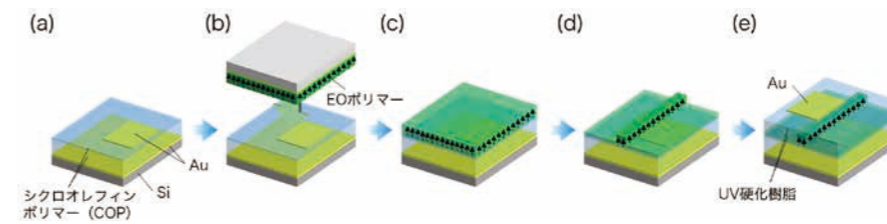


図2 転写法によるデバイス作製プロセス (a) 下部アンテナを有する基板の準備、(b) (c) ポーリング処理したEOポリマー膜の転写、(d) 導波路加工、(e) 上部クラッドと上部アンテナの形成

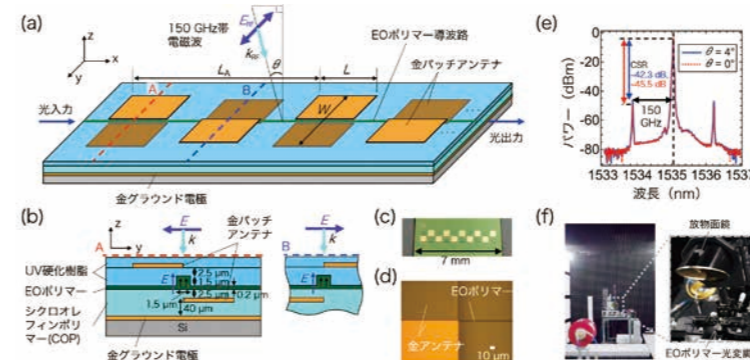


図3 150 GHz帯アンテナ結合型光変調器の (a) (b) 模式図、(c) 外観、(d) 顕微鏡画像、(e) 150 GHz電磁波照射時の出力光のスペクトル、(f) 無線伝送評価系と無線受信部

れています。一方、プラズモニック導波路型のデバイスは、光損失が大きいことや量産化が容易でないなどの課題もあります。

EOポリマーを用いたデバイス作製では、EOポリマー中のEO分子の向きを揃えるポーリングというプロセスが必須となりますが、NICTでは、あらかじめポーリング処理を行ったEOポリマー膜を様々な基板上へ転写するという独自のプロセス技術の開発に成功しています (図2)。この独自転写法を用いることで、テラヘルツ波の吸収損失が小さいシクロオレフィンポリマーなどとEOポリマーを組み合わせた低損失なデバイス作製や、ウエハ (薄い円形の基板) での転写を行うことでデバイスの量産化も可能となります。

■アンテナ結合型光変調器の開発

EOポリマーの転写法を用いることで、アンテナアレイを有する150 GHz帯EOポリマー光変調器を作製しました (図3 (a)-(d))。EOポリマー導波路が上下のアンテナのエッジに挟まれる形で配置されており、テラヘルツ波が照射されると、導波路に効率的に電圧がかかり、EO効果 (ポッケルス効果) による屈折率変化によって、導波路中を進行する光が変調されます。さらに、上下のアンテナの配置が反転したアンテナ対を交互に配置す

ることで、テラヘルツ波の「山」だけでなく「谷」も利用できるようになり、効率的に光が変調される仕組みとなっています。

このような、EOポリマー光変調器に150 GHz電磁波を照射したときの出力光のスペクトルを図3 (e) に示しています。入力光の周波数から150 GHz離れた位置に明瞭な光変調サイドバンドが観測され、電磁波照射による直接光変調が示されました。さらに、変調信号を有する電磁波を送信し、EOポリマー光変調器をテラヘルツ波受信器として使用したRoFによる無線伝送評価を実施しました (図3 (f))。これまでに140 GHz帯や150 GHz帯にて4K非圧縮映像伝送に相当するデータレート (~10 Gbps) 以上の無線伝送の実証に成功しています。

■375 GHz帯光変調器の開発

無線通信のデータレートの大幅な向上のためには、より広い帯域幅を確保できる高周波数帯の活用が不可欠です。そこで、更なる高周波数帯での動作を目指し、375 GHz帯光変調器を試作しました。図4 (a)、(b) にデバイスの評価装置と375 GHz電磁波を照射したときの出力光のスペクトルをそれぞれ示しています。光変調サイドバンドが観測され、375 GHzという高周波電磁波の照射によっても直接光変調が可能であることが

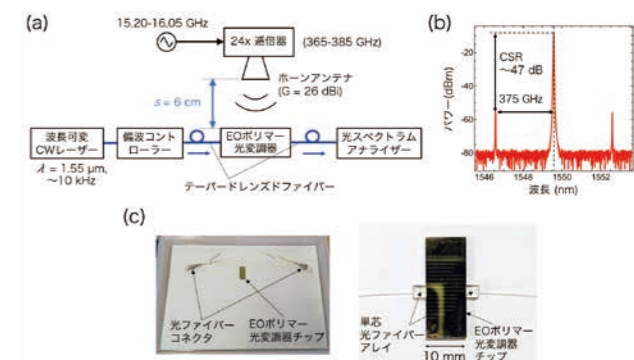


図4 375 GHz帯アンテナ結合型光変調器の (a) 評価装置、(b) 375 GHz電磁波照射時の出力光のスペクトル、(c) 光ファイバー接続によるモジュール化

初めて示されました。

また、375 GHz帯光変調器チップに光ファイバーを接続したモジュールの試作を行いました (図4 (c))。モジュール化することで、デバイスへの光入出力が安定するとともに、システムへの組み込みが容易になり、様々な機器を組み合わせたシステム実証が大幅に進めやすくなりました。

■今後の展望

従来からEOポリマーの高い性能には大きな注目が集まっていますが、デバイス作製の難しさが実用化の妨げになっていました。NICTが独自開発したEOポリマーの転写技術は、デバイスの実用化に向けた大きなブレークスルーの一つといえます。今後は、材料やデバイス作製プロセス、デバイス構造の改良を進め、デバイス性能の更なる向上を目指すとともに、パッケージング技術の開発やシステム実証を行うなど、社会実装に向けた取組を加速していきたいと考えています。

参考文献

T. Kaji, I. Morohashi, Y. Tominari, M. Ohara, T. Yamada, and A. Otomo, "D-band optical modulators using electro-optic polymer waveguides and non-coplanar patch antennas," Opt. Express, vol.31, issue 11, pp.17112-17121, 2023.

ポーリング済みEOポリマー膜とその積層膜作製と超高速周波電場検出への応用



山田 俊樹
 (やまだ としき)

未来ICT研究所
 神戸フロンティア研究センター
 ナノ機能集積ICT研究室
 研究マネージャー

大学院博士課程修了後、科学技術振興事業団CREST研究員を経て、1999年に郵政省通信総合研究所（現NICT）に入所。有機電気光学ポリマーの材料・評価技術開発、光変調デバイス開発、テラヘルツ波検出技術開発に従事。博士（工学）。

E Oポリマーは電場をかけたとき、光の屈折率がどのくらい変わるかを示す電気光学係数も大きく、超高速周波電場（超高速で振動する電場の揺れ）応答に優れています。このためEOポリマーは超高速周波電場・テラヘルツ電場の検出に非常に有利です。私たちはEOポリマーの超高速周波電場検出応用のため、ポーリング済みのEOポリマー膜（以下自立膜と記載します。）とそれらを重ねた構造の積層膜作製技術の開発を行い、作製したEOポリマー積層膜を用いて、超広帯域電場検出に成功しました。また近年、EOポリマーの応用・用途が広がりつつあり、EOポリマー自立膜・積層膜の汎用化技術の開発も進めています。

■背景

EOポリマーは、100 pm/V以上の大きな電気光学係数(r)と1.6程度の屈折率(n)を有し、EO効果による超高速周波電場・テラヘルツ電場検出の性能指数(n^3r)が、無機EO結晶と比較して大きくなります。したがって、超高速周波電場検出材料として期待できます。EOポリマーは光波とテラヘルツ周波数帯での屈折率差が小さく、光波とテラヘルツ波が材料中を進む速度の差が小さいことも有利な点です。無機EO結晶では、結晶格子振動によるテラヘルツ波の吸収のために検出可能なテラヘルツ周波数帯域が

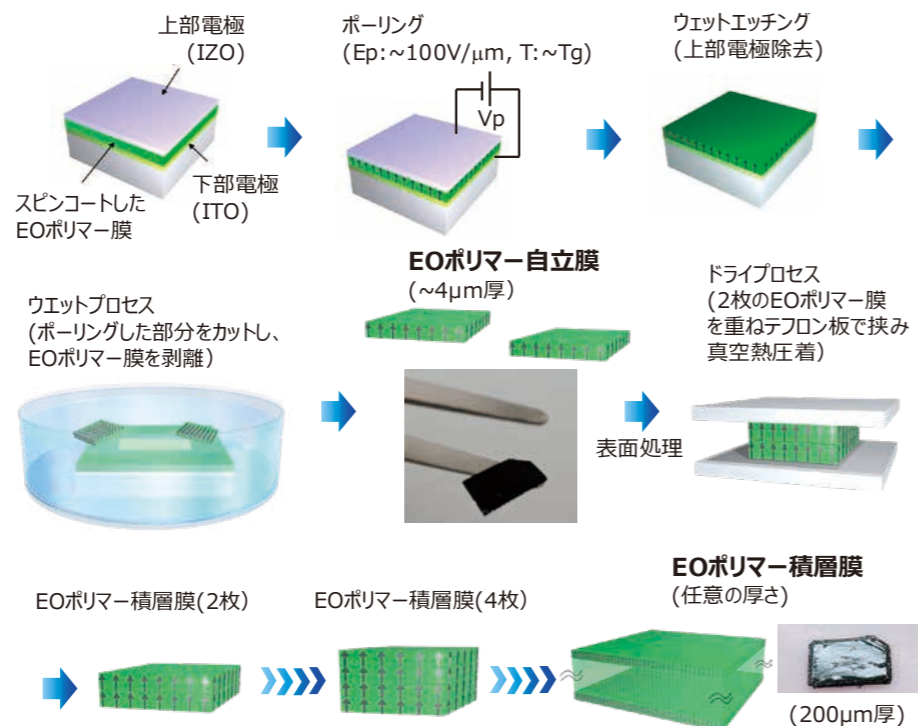


図1 EOポリマー自立膜・積層膜の作製方法の概要図

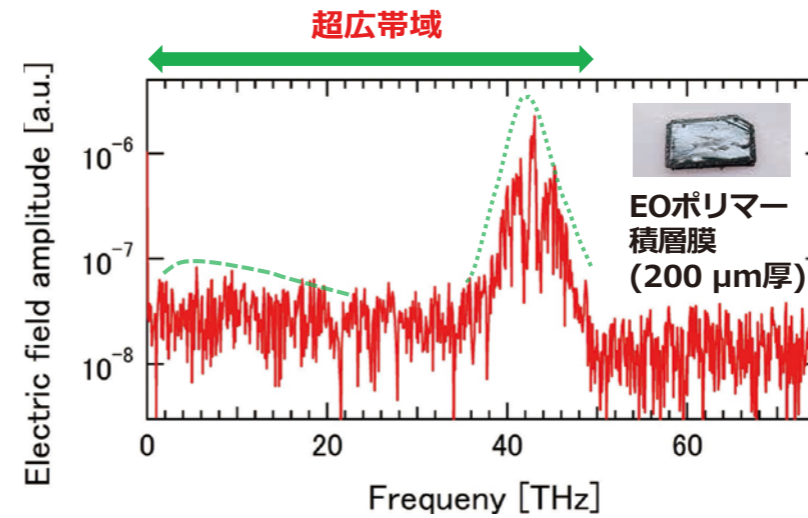


図2 フーリエ変換電場振幅スペクトル
 EOポリマー積層膜（200 μm厚）を用いた超広帯域電場検出

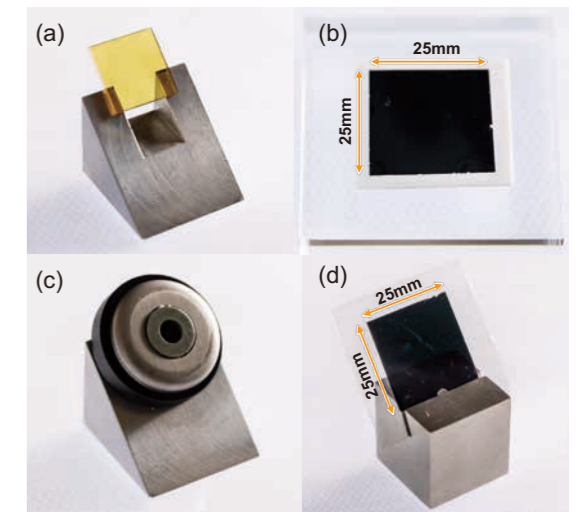


図3 (a) EOポリマー転写膜、(b) EOポリマー自立膜（25 mm四方）、(c) EOポリマー積層膜（200 μm厚）、(d) EOポリマーキャリアフィルム（25 mm四方）

制限されるのに対し、アモルファス材料（原子や分子の並び方がバラバラで決まった規則性を持たない固体）であるEOポリマーは、広範囲のテラヘルツ周波数帯において吸収係数が比較的小さく、超広帯域のテラヘルツ電場の検出に利用できます。

EOポリマーはEO効果を発現させるために分子の向きを、電場を使って一方向へ並べるポーリングを行う必要があります。この際にITOやIZOなどの透明金属電極を使用します。具体的にはポリマーのガラス転移温度(T_g)付近に温度をあげ、比較的高いポーリング電界(E_p : ~100V/μm)を印加し、EO分子の双極子の方向を揃え、電界を印加したまま、温度を下げてその配向を凍結させます。ポーリングの際に使う電極はテラヘルツ波を反射・吸収するため、ポーリングを行った後の電極はEOポリマーのテラヘルツ電場検出応用の妨げになります。私たちはポーリングしたEOポリマー膜をテラヘルツ周波数帯で透明な基板上に転写する方法を開発し、電極フリーなEOポリマー転写基板を用いて、広帯域なテラヘルツ電場検出に関する研究開発を進めてきました。

■EOポリマー自立膜・積層膜作製法

図1の概要図に示すように、私たちはEOポリマー転写法を発展させ、EOポリ

マーの自立膜・積層膜作製法を開発しました。ポーリング済みのEOポリマーの自立膜を作製し、ポーリング方向を揃えて積層するプロセス技術を開発しました。ポーリング後、上部電極を除去、その後、EOポリマーの剥離、表面処理、真空熱圧着などのウェット及びドライプロセスを用いて作製しています。作製に当たっては、このようなプロセスに耐え得る、耐熱性及び韌性に優れたEOポリマーを選定しています。

■EOポリマー積層膜を用いた超広帯域電場検出

電気光学効果を利用した電気光学サンプリング法というテラヘルツ電場検出方法では検出効率性は性能指数(n^3r)と膜厚 d に比例します。図1の方法で作製したポーリング済みのEOポリマー自立膜を多数個作製し、ポーリング方向を揃えて貼り合わせることで、EOポリマー積層膜（膜厚 d : ~200 μm）を作製しました。波長1.56 μmのフェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ時間領域分光法により、DAST結晶から発生したテラヘルツ電場の実時間電場波形をEOポリマー積層膜を用いて検出しました。図2は測定した実時間電場波形をフーリエ変換（複雑な電場波形を単一の周波数の波の集まりに分解する）することにより得られた電場振幅スペクトルです。0.1~20

THzの周波数領域に加え、40~42 THz付近にピークを持つ赤外光電場が観測され、超広帯域電場検出に成功しました。

■今後の展望

私たちはEOポリマー自立膜の大面积化とEOポリマーのキャリアフィルム構造作製の技術開発を進めています。現時点（2026年3月）で、図3に示すように25 mm四方のEOポリマー自立膜が作製できるようになってきています。大面积EOポリマー自立膜を適当な大きさにカットして多数のEOポリマー自立膜を作製することにより、多層の積層膜作製の大幅な効率化につながります。大面积EOポリマー自立膜はEOポリマー光変調器やEOポリマー光フェーズドアレイなどの導波路型のデバイスの作製プロセスへの適用も期待できます。また、EOポリマー自立膜を低粘着フィルムと離形フィルムで挟んだキャリアフィルム構造はEOポリマー自立膜の汎用化につながると考えています。EOポリマーはポーリングが技術的に難しく、EOポリマー自立膜の汎用化技術を開発することにより、この分野の進展に寄与したいと考えています。

フルカラー3Dも可能に!! 新方式3Dディスプレイを目指した EOポリマー光フェーズドアレイの開発



山田 俊樹
 (やまだ としき)
 未来ICT研究所
 神戸フロンティア研究センター
 ナノ機能集積ICT研究室
 研究マネージャー

大学院博士課程修了後、科学技術振興事業団CREST研究員を経て、1999年に郵政省通信総合研究所（現NICT）に入所。有機電気光学ポリマーの材料・評価技術開発、光変調デバイス開発、テラヘルツ波検出技術開発に従事。博士（工学）。



平野 芳邦
 (ひらの よしくに)
 NHK放送技術研究所
 空間表現メディア研究部
 副部長
 大学院修了後、1997年日本放送協会（NHK）に入局。同年よりNHK放送技術研究所にて、プラズマディスプレイ、3次元映像デバイス、空間再生用光フェーズドアレイに関する研究に従事。

私 たちは、空間光通信、ライダー（LiDAR）、3Dディスプレイなどへ応用可能なEOポリマー（EOP）を用いた光フェーズドアレイ（OPA）*の研究開発を行っています。光フェーズドアレイは光の干渉を利用して光ビームの進行方向や収束・発散等を制御でき、機械的な可動部を持たず小型・軽量であることを特徴とするデバイスです。特に、EOポリマー光フェーズドアレイ（EOP-OPA）は超高速、低消費電力で光ビーム制御が可能で、上記の様々な応用の投光部としての応用が期待できます。

■背景

私たちはEOポリマーを用いた超高速時空間光変調技術の研究開発に取り組んでおり、その一つが光フェーズドアレイ

です。光フェーズドアレイは、図1に示すように、入力光を分岐する光分岐部と電気光学（EO）効果や熱光学効果で屈折率が変化する光位相シフター、光出射部（導波路端面やこれに接続されたグレーティング）から構成されています。光位相シフターのアレイにそれぞれ制御信号を印加し、等位相面を制御することにより、図1に示すように光ビームの進行方向や収束・発散等を自在に制御できます。

■光位相シフター材料・デバイスの特性の比較

光ビーム制御速度、消費電力、使用できる波長等を用いる光位相シフターの材料や動作原理に依存します。EOポリマー光フェーズドアレイ（EOP-OPA）とシリコンを用いた光フェーズドアレイ（Si-OPA）や液晶を用いた空間光変調器

デバイス	動作機構	光ビーム制御速度	消費電力	使用波長 (1.55 μm)	使用波長 (可視光)
LCOS-SLM (反射型)	配向変化	~10 kHz	小	○	○
Si-OPA (導波路型)	熱光学効果	~100 kHz	大	○	×
EOP-OPA (導波路型)	EO効果	~100 GHz	小	○	○

図2 EOポリマー光フェーズドアレイ（EOP-OPA）、シリコンを用いた光フェーズドアレイ（Si-OPA）、液晶を用いた空間光変調器（LCOS-SLM）の特性の比較

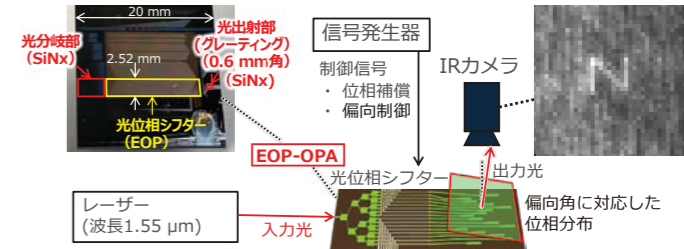


図3 波長1.55 μm用の64チャンネルのEOP-OPA素子を用いた2次元偏向動作とパターン表示

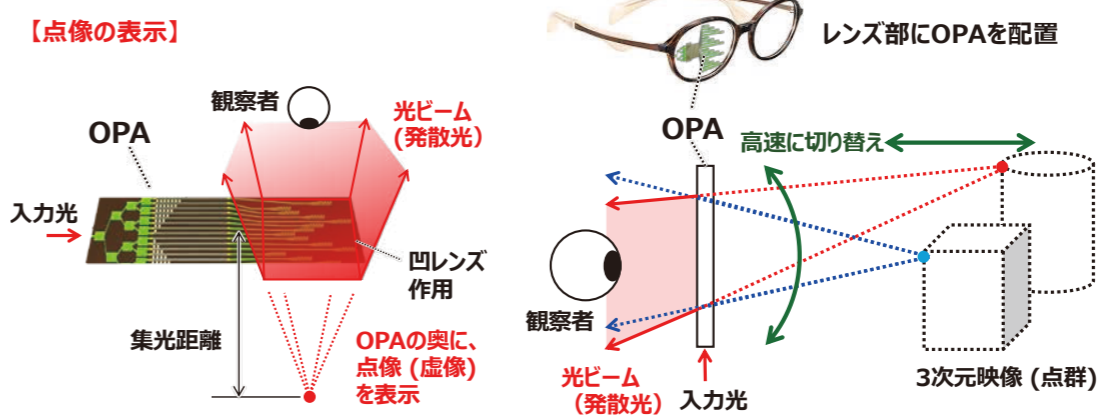


図4 新規な3次元（3D）表示技術とグラス型3Dディスプレイ応用の概要図

（LCOS-SLM）を比較した表を図2に示します。LCOS-SLMは動作機構として液晶分子の配向変化を用いて屈折率を変化させているため光ビーム制御速度は10 kHz程度と遅くなります。Si-OPAは動作機構として熱光学効果を用いて屈折率を変化させているため、光ビーム制御速度は100 kHz程度であり、消費電力が大きくなります。また、波長1.55 μmではSiは透明なので使用できますが、可視光では使用できません。一方、EOP-OPAは動作機構として電子応答に基づくEO効果を用いて屈折率を変化させているため、100 GHzでの光ビーム制御も可能で、消費電力も小さくなります。このようにEOP-OPAは光ビーム制御速度や消費電力の両面で優れた性能が期待されます。また私たちは波長1.55 μmだけでなく可視光（赤色630 nm）で使用可能なEOP材料を開発しました。そのEOP材料を用いて光変調器を作製し、高性能な光変調を実証しており、使用できる波長域も可視光へと広がっています。

■EOP-OPA用いた光位相制御による2次元光偏向動作とパターン表示

図3は波長1.55 μm用の64チャンネルのEOP-OPA素子と評価装置の構成を示しています。入力光は光分岐部で分岐され、光の位相を自由に制御できる光位相シフターを通り、光出射部（グレーティング）より出力されます。各光位相シフターへ位相補償と偏向制御のための制御信号を印加することにより、光出射部で偏向角に対応した光位相分布を作り出します。光ビームを描きたい図形の形状に沿って直接動かすベクタースキャンを行うことにより“N”の文字を描画しました。

■新規な3次元表示技術とディスプレイ応用

この技術を応用すると新規な3次元（3D）表示技術へ展開できます。図4に概要図を示します。OPAの本質は光の波面を制御できることにあります。波面の制御によりOPAの奥に点像（虚像）を作ることができます。単一のOPAを用いて3次元空間の異なる位置にある点像を高速に切り替えて表示することで、多

数の虚像の点群（3D映像）を表示します。点像は物体の光学像（虚像）から出た光を再現するため、自然な3D映像が観察できます。EOP-OPAは使用できる波長域も可視光へ広がっており、EOP-OPAの特徴である高速な光ビーム制御により、新規な3D表示技術を用いたグラス型3Dディスプレイへの応用が期待できます。

■今後の展望

新規な3D表示技術への展開には、EOP-OPAの多チャンネル化とそれに伴う駆動技術の研究開発が今後重要になってきます。EOP-OPAの優れた光ビーム制御機能のデモンストレーションを行うとともに、フルカラー3D表示技術の開発に向けて、可視光全域で使用できるEOP材料の研究開発も並行して進めたいと考えています。

*光フェーズドアレイ（OPA）
 一つの光源から分岐した多数の光源の光位相をそれぞれ電的に制御して、光の進行方向や収束・発散を操る装置。

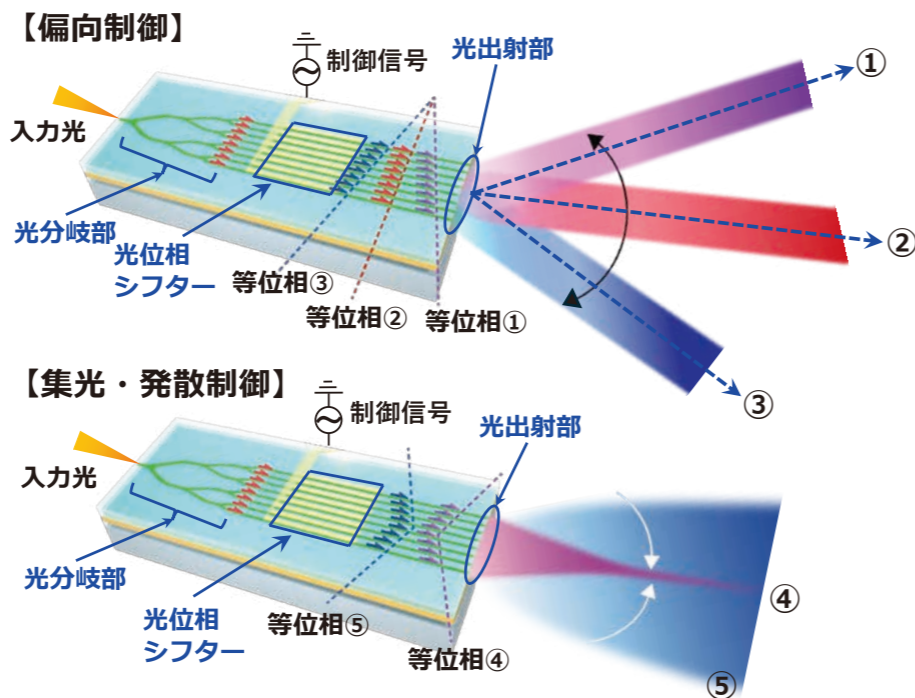


図1 光フェーズドアレイの構成と光ビーム制御

ナノ機能集積 ICT 研究室を 支える技術者たち



研究の最前線で活躍する研究者のすぐそばには、研究技術員の存在があります。材料の分析、装置の製作など、その日々の積み重ねは研究にとって欠かせません。今回は、NICTで研究開発を支える3名の研究技術員にフォーカスし、その仕事の面白さややりがい、現場で発揮される専門性の一端をご紹介します。

Research Engineer



山田 千由美

(やまだ ちゆみ)

未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
ナノ機能集積 ICT 研究室
研究技術員



私は、研究室で合成されたEO色素やポリマーの物性評価を行っています。UV吸収スペクトルやガラス転移温度、EO係数など様々な物性データを取り、デバイスに使えるかどうかを判定します。

ある程度の性能が得られたポリマーは、分子配向度の熱緩和や伝搬ロスという実際にデバイ

スにした際に必要とされる耐久性や能力について、より細かなデータ測定を行います。そのポリマーの持つ最大限の性能が出来るように実験を行うことはとても重要です。条件が合わず、十分な能力を発揮できなければ、世に出る機会を失うことになるので、経験に基づき常に最適条件下での結果が出せるよう心がけています。

Q この仕事をしていての難しさ、面白味、やりがい

A 研究はスムーズにいくことが少なく、度々問題が発生しますが、その分それをクリアした時の達成感は大きいものです。また、後に論文や学会で世間に発表されることになりませんが、研究の過程でその事実を世の中で一番最初に発見したのは自分だという優越感のような感情が得られます。早く結果が知りたいという気持ちで月曜日になるのが楽しみな時さえあります。実験が好き、その一言です。

Q NICTに入って良かったこと

A NICTには、様々な専門分野のプロがいてその知識を存分に発揮して研究をされています。高度な会話が飛び交う中で、さらに上を目指そうとする志の高い人たちに囲まれていると、自然と私も努力を重ねようという意欲をかき立てられます。

Q 技術者を目指す学生さんへひとこと

A 万能である必要はなく、何か一つでもいいので自分の強みを持ってください。私がNICTに入った時は、周りの人たちの知識や技術に圧倒されましたが、自分にできることを一生懸命やろうと心に決め、コツコツやってきた結果、研究に必須となる技術を得ることができました。努力が実を結びます。そして、その強みが自分自身を助けてくれます。

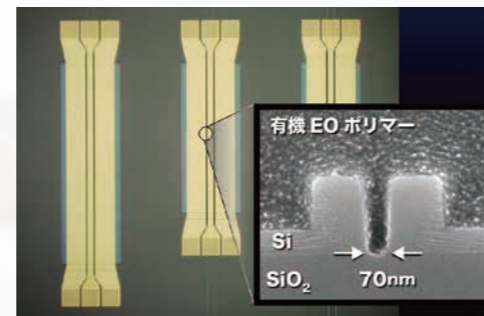
Research Engineer



横濱 秀雄

(よこはま ひでお)

未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
ナノ機能集積 ICT 研究室
研究技術員



私は、有機EOポリマーと無機材料という異なる特性の材料を光導波路に用いた光変調器の作製、測定評価を行っています。EOポリマーとシリコンなどの無機材料の性能を活かすデバイス構造の最適化やデバイス作製工程の確立を目指しています。デバイス作製後は、測定・評価を行い、その結果を次のデバイス作製へ反映させます。

Q この仕事をしていての難しさ、面白味、やりがい

A 私の担当しているデバイス作製の工程は、前処理など含めると100以上になります。クリーンルームでプロセス装置を用いて工程を進め、工程ごとに光学顕微鏡でデバイスの状態を確認しますが、予想と違う状況が多く、顕微鏡をのぞき込んだまま顔を上げずにいることが多くあります。そのような場合、対応策を検討し、場合によってはリカバリー工程を施して、デバイスとして完成させます。一つひとつの問題に対処して完成したデバイスを測定し、特性が少しずつ向上していく喜びはひとしおです。

Q NICTに入って良かったこと

A 整備された研究施設や設備のなかで、最先端の領域で実験できることは大変恵まれていると感じます。また、新規に導入

した装置は、条件確認を繰り返し行うことで装置の特性を把握し、さらに前後の工程と組み合わせることで、ようやくデバイス作製工程に導入することが可能となります。この場合、これまでの蓄積された実験結果や周囲からの適切なアドバイスをいただける環境が整っているため効率よく進めることができます。

Q 技術者を目指す学生さんへひとこと

A デバイス作製に関する研究は、新しいデバイスを作製するクリエイティブ系、プロセス技術を重視する製造系、特定分野を深く追及する職人系などと色々な視点で研究ができると思います。また、NICTの研究分野は広く、興味がある分野には、比較的関わりやすい環境があり、活躍の場を広げることができると思います。

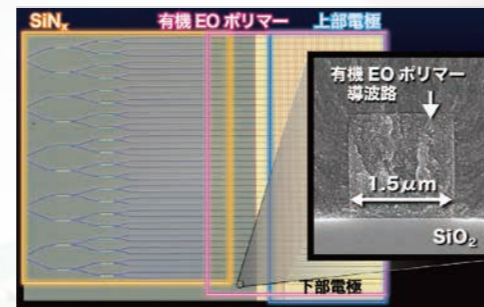
Research Engineer



上田 里永子

(うへだ りえこ)

未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
ナノ機能集積 ICT 研究室
研究技術員



私は、主に光導波路を含むデバイスを作製しています。光導波路は光の通り道となる構造物です。研究室で合成された有機EOポリマーをスピコートで成膜したのち、反応性イオンエッチング装置 (RIE) でエッチングすることで構造を作製します。光導波路を作製して光伝搬損失を測定したり、ポーリングと呼ばれる処理で分子の向きを揃えた有機EO

ポリマー膜を使用して、光変調器などのデバイスを作製したりしています。

Q この仕事をしていての難しさ、面白味、やりがい

A 研究をするうえで、難しいことはたくさんあります。特に難しいのは、プロセスフローを確立することです。デバイスの作製には様々な工程があり、最適な条件を出すまでには時間と根気が必要です。加工精度が伝搬損失に直結するので慎重に条件を確認しています。例えば、工程の順序や、装置の反応器内部の状態も加工精度に影響します。装置に関しては使用者全員に協力してもらい維持しています。やりがいを感じるのは、導波路や電極などの構造が設計とずれなく作製できた時や、光の出射が確認できた時です。1本の導波路を64本に分岐したデバイスなどは全部の出力が確

認できるとほっとします。

Q NICTに入って良かったこと

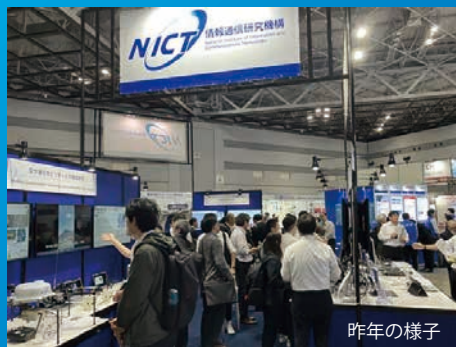
A 最先端の研究にかかわれることが良かったと思います。NICTに入ってから様々な知識や技術を習得することができました。最先端の研究についていくため、周りに置いて行かれないために、現在も日々努力中です。

Q 技術者を目指す学生さんへひとこと

A 自分の興味のあることを中心に貪欲に学んでください。学生時代にしか経験できないこともあると思うので、機会を逃さず積極的に挑戦してください。失敗も貴重な経験です。そうして得た知識や技術、経験はいつかどこかで役に立ちます。



出展



昨年の様子

ワイヤレス・テクノロジー・パーク (WTP) 2026

会期 2026年
5月27日 日 函 ~ **29日** 日 金

会場 東京ビッグサイト 西3・4ホール

開催時間 10:00 ~ 18:00 (最終日は 17:00 まで)

NICT は、無線通信技術の研究開発と社会実装を推進する国内最大級の専門展示会「ワイヤレス・テクノロジー・パーク (WTP) 2026」に出展します。NICT ブースでは、Beyond 5G/6G を見据えた最新の研究成果や、将来の社会課題解決につながる技術について、デモンストレーションや展示映像を通じて紹介します。また、複数の企業と連携して進められている FSPJ (Flexible Society Project) のパビリオンにも出展し、同プロジェクトにおける NICT の取組を紹介する予定です。さらに、会期中には NICT 研究者による講演も開催されます。ぜひお立ち寄りください。

展示

- ワイヤレスエミュレータ
- 三次元統合ネットワーク制御と高速宇宙光通信
- 電波反射材による 5G 通信エリアの拡大
- ミリ波/テラヘルツ波自動切換え無線通信システム
- 通信を途切れさせない 5G 電波がみえるロボット
- Massive IoT
- 空や海のモビリティとの通信技術
- Beyond 5G/6G 等に期待されるテラヘルツ無線技術
- Flexible Society Project
- サイバネティックアバターのための NW 技術
- Beyond 5G/6G の社会実装を加速するテストベッド



主催 株式会社リックテレコム | 詳細はイベント公式サイトをご覧ください。

公式 <https://wjwtp.jp/2026/>

どんなことをしてるんだろう

施設一般公開

NICTオープンハウス2026

6.19金 → 6.20土

参加費無料・入場登録制

入場登録・当日の時間割は特設サイトをご確認ください

<https://www2.nict.go.jp/publicity/openhouse/2026/>



みらいの情報通信の研究って



お問い合わせ先 広報部 広報企画室 オープンハウス担当 Mail : open-house-2026@ml.nict.go.jp



NICT NEWS 2026 No.3 通巻 517
 編集発行：国立研究開発法人情報通信研究機構 広報部
 発行日：令和8年（2026年）5月（隔月刊）

F:184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
 E-mail: publicity@nict.go.jp

URL: <https://www.nict.go.jp/>
 @NICT_Publicity
 #NICT

ISSN 1349-3531 (Print)
 ISSN 2187-4042 (Online)

（再生紙を使用）
 re70