

令和2年8月3日

報道機関 各位

東北大学 多元物質科学研究所  
創光科学株式会社

**ギガビット級高速光無線通信を実現した  
深紫外LEDの高速変調メカニズムを解明**  
-自己組織化微小LED集合体がもたらす、高発光効率と高速変調の両立-

【発表のポイント】

- 殺菌用**深紫外\***発光ダイオード(LED)を用いた高速光無線通信
- 量産型LEDに見出された微小発光点による高速変調メカニズムの解明
- 太陽光や照明光に影響されにくい光無線通信へ道

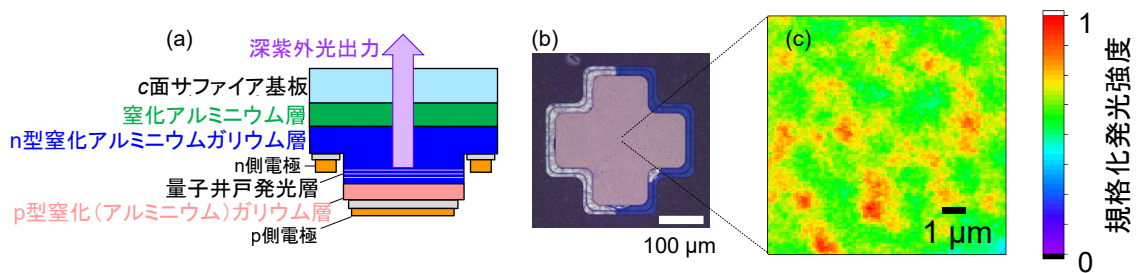
【概要】

次世代の通信システムとして、LEDに代表される安価な光源に基づいた光無線通信システムが注目されています。東北大学多元物質科学研究所 小島 一信 准教授、秩父 重英 教授は、情報通信研究機構(NICT) 吉田 悠来氏、白岩 雅輝氏、淡路 祥成氏、菅野 敦史氏、山本 直克氏、創光科学株式会社 長澤 陽祐氏、平野 光氏、一本松 正道氏と協力し、世界初のギガビット級ソーラーブラインド光無線通信を実現した深紫外LEDの高速変調メカニズムを解明しました。

可視光や赤外光と比べて波長の短い深紫外波長帯は、光情報通信資源として稀有な特性を持つことから、長きにわたりその活用が検討されてきました。特に、深紫外波長帯の光には、地表における太陽放射にほぼ含まれていないという特徴があります。このため深紫外波長帯は太陽光の影響を受けない、すなわち「ソーラーブラインド帯」として知られ、日中の屋外においても低雑音環境での光無線通信が期待できます。

本研究成果は、米国物理協会(AIP)の科学誌「Applied Physics Letters」誌にて、2020年7月22日にオンライン公開されました。

本研究の一部は、文科省の「人・環境と物質をつなぐイノベーション創出ダイナミック・アライアンス」および科研費基盤研究(B)「情報通信資源としての深紫外帯の再探索」、新学術領域研究「特異構造の結晶科学」の助成を受けています。



【参考画像 1】 (a) 深紫外 LED の断面構造概略図、(b) p 側電極平面像、(c) LED を点灯させて観察した顕微発光像。

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学多元物質科学研究所

准教授 小島 一信 (こじま かずのぶ)

教授 秩父 重英 (ちちぶ しげふさ)

電話： 022-217-5363

E-mail： kkojima@tohoku.ac.jp

創光科学株式会社

長澤 陽祐 (ながさわ ようすけ)

平野 光 (ひらの あきら)

一本松 正道 (いっぽんまつ まさみち)

電話： 052-861-3505

E-mail： hirano@uvcr.jp

URL： <http://uvcr.jp>

(報道に関すること)

東北大学多元物質科学研究所 広報情報室

電話： 022-217-5198

E-mail： [press.tagen@grp.tohoku.ac.jp](mailto:press.tagen@grp.tohoku.ac.jp)

## 【詳細な説明】

### 1. 背景

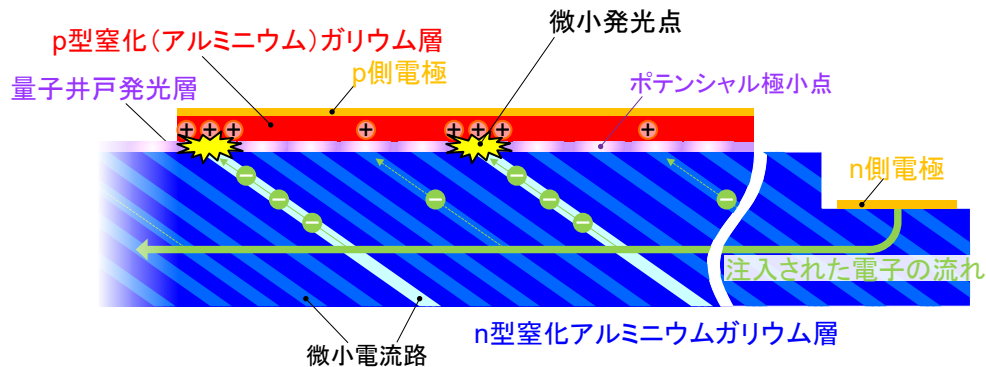
窒化アルミニウムガリウム (AlGaIn) **量子井戸\***を発光層として備え、深紫外波長帯にて動作する発光ダイオード (LED) は、透析装置の尿素センサに用いられており、また殺菌・浄水をはじめ、樹脂形成・接着、フォトセラピー、ソーラーブラインド高速光無線通信などの幅広い分野において応用が期待されています。特に、水俣条約締結による水銀製品の輸出入・製造の禁止 (2020年) により、深紫外AlGaIn量子井戸LEDの実用化に向けた研究開発が加速しています。

深紫外波長帯の光はオゾン層にて吸収されるため、我々が暮らす地表における太陽光にほぼ含まれていないという特徴があります。このため、このような光を用いた光無線通信は太陽光に不敏感、すなわち「ソーラーブラインド帯」として知られ、日中の屋外においても低雑音環境での無線通信が原理的に期待できます。低雑音環境とは、日中の屋外では目立たないロウソクのような微弱な光が、夜になると遠くからでもはっきり見える状況に例えることができます。一方、第5世代携帯電話網、いわゆる5GやBeyond 5Gにおける通信帯域資源の枯渇対策として、可視波長帯や赤外波長帯のLEDに代表される安価な光源に基づいた光無線通信システムが注目されています。最近では、異なる発光色を有する複数の微小LEDを用いた波長多重伝送により、5Gの要件に応える10 Gbps超の伝送実験結果も報告されています。しかし可視波長帯や赤外波長帯は太陽光や室内照明に多く含まれることから、ユースケースが屋内に限定されることが多いという問題がありました。これに対し東北大学、NICT、創光科学の産学官アライアンスは深紫外AlGaIn LEDを用いて、2018年に世界で初めて2 Gbpsを超える高速光無線通信を室内照明環境のもと実現し、翌2019年には、真夏の屋外においてもギガビット級光無線通信が安定的に実現できることを実証しました。

これらの実証には、高速変調を可能とするために特別に作製された通信用の微小LEDではなく、電極面積の比較的大きな殺菌用AlGaIn量子井戸LEDが用いられました。しかし、なぜそのような高速通信が実現したかというメカニズムの解明には至っていませんでした。そこで東北大学、NICT、創光科学の産学官アライアンスは当該LEDの光物性を、高速な光現象を観察できるストリークカメラや、高精度な深紫外光学顕微鏡を用いて評価し、自己組織的に形成された多数の微小発光点が存在することを発見しました。その結果、微小発光点一つ一つが微小LEDとして振る舞い、素子全体の**電気容量\***を実質的に低下させることにより**変調速度\***が向上し、高速通信が実現されたことが分かりました。本研究成果は、変調速度を向上させるほど光出力が低下する、通信用LEDの微小化戦略が抱えていたジレンマを解消できる可能性があります。また、殺菌用LEDを流用する形でソーラーブラインド高速光無線通信が実現できることから、コスト面からも有用であることが明らかになりました。

## 2. 研究手法と成果

これまでの研究により、東北大学と創光科学は民生品化された深紫外LEDの中でトップクラスの発光効率および**素子寿命\***を持つ創光科学社製のAlGaIn量子井戸LEDの構造を**電子顕微鏡\***を使って調べ、強い発光が生じるナノ領域に微小電流路が接続する特異構造を見出していました。



【参考画像2】深紫外LED中に自己形成された微小発光点。量子井戸層に形成されたポテンシャル最小点が微小電流路とつながっており、微小LEDの集合体を形成している。参考画像1(a)と上下が反転していることに注意。

本研究では、このようなLEDにパルス状の電流を加えて、消灯状態から点灯状態への遷移、およびその逆過程に必要な時間を、ストリークカメラと呼ばれる高速光検出器によって測定しました。その結果、 $2\sim 3 \times 10^{-9}$ 秒程度の時間で消灯と点灯の切り替わりが生じることが分かりました。これは、電極面積から予測される遷移時間よりもおよそ一桁短い値でした。次に、深紫外波長帯の光学顕微鏡を用いて、LED点灯時の発光の様子を観察した結果、量子井戸発光層が全面均一に光るのではなく、 $1\ \mu\text{m}$ 程度かそれより小さな輝点が多数存在する様子が観測されました。

先の電子顕微鏡を用いた研究結果から予測された通り、外部電源から注入された電子が微小電流路を経由して量子井戸発光層の**ポテンシャル\***極小点に選択的に運ばれ発光することで、あたかも微小なLEDのように振る舞っていることが裏付けられました。微小LEDの電気容量は小さいため、それらが集団として振る舞うLED全体の電気容量が実質的に低下します。その結果、深紫外LEDの変調速度が向上し、高速通信が実現されたことが分かりました。

本研究成果は、深紫外AlGaIn量子井戸LEDが持つ自己組織的な微小構造と高速変調性とが強く相関していることを明らかにしました。これは、従来のトップダウン方式の微小LED作製手法だけではなく、ボトムアップ的に形成される自己組織化構造の有用性を示唆するものであり、LEDのデザイン手法に新しい方向性を示しました。

### 3. 今後の展望

より高速なソーラーブラインド光無線通信の実現に向けて、LED や通信路の改善を行います。また生態侵襲性を考慮し、より微弱な光を使った深紫外光通信の可能性を検証します。

#### 【論文情報】

タイトル: Self-organized micro-light-emitting diode structure for high-speed solar-blind optical wireless communications

著者名: K. Kojima, Y. Yoshida, M. Shiraiwa, Y. Awaji, A. Kanno, N. Yamamoto, A. Hirano, Y. Nagasawa, M. Ippommatsu, and S. F. Chichibu

雑誌名: Applied Physics Letters

DOI: 10.1063/5.0013112

#### 【用語解説】

\***深紫外波長帯**: 本稿では、波長300 nm以下かつ空気の吸収が顕著に生じない波長200 nm以上の帯域を指す。ただし、明確な定義はない。

\***Gbps (ギガビーピーエス)**: 1秒間に送信できる通信容量の単位のこと。基本単位である1 bpsは、1秒間に1ビットのデータ量が送信できることを意味する。このため、1 Gbpsは1秒間に $10^9$ ビットのデータ量が送信できることを意味する。

\***量子井戸**: 厚さ数ナノメートル程度に薄くした半導体層のこと。通常は障壁層と呼ばれる、ポテンシャルの大きな半導体層に挟まれている。

\***電気容量**: 電荷をためる能力のこと。2枚の平行平面金属板が持つ電気容量は、金属板の面積に比例し、両者の距離に反比例する。

\***変調速度**: 単位時間あたりに LED の点灯と消灯を繰り返すことができる回数のこと。基本的に、電気容量の平方根に反比例する。

\***素子寿命**: ある決まった条件下で素子の使用を開始した時から、既定の水準まで光出力が低下するまでにかかる時間のこと。

\***電子顕微鏡**: 観測対象に加速した電子を入射し、放出される二次電子の分布から拡大した画像を得る顕微鏡のこと。電子は光よりも空間的に小さく収束させることができるため、光学顕微鏡よりも高い倍率で観測対象の画像が得られる。

\***ポテンシャル**: エネルギーの次元を持ち、電子の安定性を表す物理量。量子井戸の幅やAlGaInの組成によって変化する。電子は、ポテンシャルのより低い場所へ移動することでより安定になる。