

## 新任教員紹介

# 電気電子工学科 教授 遊部 雅生

### 略歴

- 1964.12 東京都生まれ
- 1983.3 神奈川県立 北陵高等学校 卒業
- 1987.3 慶応義塾大学 理工学部 計測工学科 卒業
- 1989.3 慶応義塾大学 理工学研究科 修士課程 計測工学 修了
- 1989.4 日本電信電話株式会社 光エレクトロニクス研究所
- 1995.9 慶応義塾大学 理工学研究科 物質科学専攻 博士(工学)取得
- 1996.7 日本電信電話株式会社 光ネットワークシステム研究所+
- 1998.7 日本電信電話株式会社 フォトニクス研究所
- 2007.7 同 グループリーダー
- 2013.4 現職



### 担当科目

情報伝送工学、電気回路3、移動体通信、電気電子工学実験3、4、入門ゼミナール

### 研究活動内容

#### 1. はじめに

私は1990年頃よりNTT研究所において主に非線形光学効果を用いた光デバイス及び超高速光伝送システムの研究を行ってきました。近年は擬似位相整合波長変換素子を用いた低雑音位相感応増幅器、中赤外光源と高感度ガスセンシングの研究に注力してきました。本稿では最近の研究を紹介するとともに今後の研究に対する抱負を述べたいと思います。

#### 2. 擬似位相整合を用いた波長変換技術

私がNTTに入社した頃は非線形光学と言え、見た目もパワーも巨大なレーザを用いなければその効果を得ることができませんでした。しかし、近年では擬似位相整合(Quasi-Phase Matching)技術<sup>1)</sup>を適用した非線形光学材料を導波路化して高い光パワー密度を得ることで、小型の半導体レーザや光ファイバ増幅器の出力を高い変換効率で波長変換することが可能になりました。私の研究では強誘電体であるニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)に電界を印加することで、周期的な分極反転構造を形成した基板(Periodically Poled LiNbO<sub>3</sub>: PPLN)を用い、これをウエハ接合技術で直接接合しドライエッチング加工することで、材料に不純物等を拡散することなく欠陥等の少ない高い光パワーに耐性のある光導波路を形成し、高い効率を実現しました<sup>2)</sup>。この波長変換素子は光周波数領域(200THz程度)における周波数混合器として捉えることができます。図1に

示すように例えば2つの異なる周波数(波長)の光を入射すると、それらの和あるいは差の周波数の光を発生することができます。光ファイバ通信には近赤外(1.3-1.55 $\mu\text{m}$ )の半導体レーザが用いられますが、これと1.0 $\mu\text{m}$ 近傍の半導体レーザとの和周波を発生すると可視光(0.5-0.6 $\mu\text{m}$ )が、差周波を発生すると中赤外光(2-4 $\mu\text{m}$ )を得ることができます。可視光を発生する光源はレーザ蛍光顕微鏡用の励起光源として事業化に成功しました。中赤外波長域は多くのガス分子の基本振動による強い吸収が得られるために、高感度ガスセンシングへの応用が期待されています。

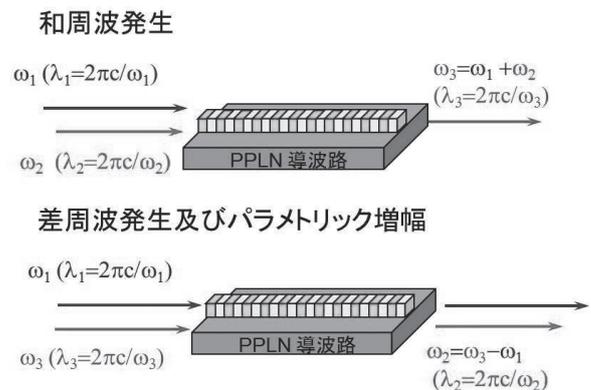


図1 PPLNを用いた周波数混合の概念図

#### 3. 最近の研究から

近年は上記の波長変換技術をベースにして、極めて低雑音な位相感応増幅器(Phase Sensitive Amplifier:PSA)の研究を進めてきました。光ファイ

バ通信の分野では多値変復調技術やデジタルコヒーレント技術などを適用して単位周波数あたりのデータ量を表す周波数利用効率の向上が追求されていますが、シャノンの通信理論によれば高い周波数利用効率を得るためには高い信号雑音比 (S/N 比) を得ることが必須の条件となります。光通信における原理的な S/N 比は光パワーに比例するので、高い S/N 比を得るには高い光パワーを用いることが最も直接的な方法となるはずですが、しかし情報量の増大に伴って、光ファイバへの入力光パワーが増大し、“非線形シャノン限界”による伝送容量の限界が指摘されています<sup>3)</sup>。これは光ファイバの非線形効果と光増幅器の発生する自然放出光との相互作用により、光ファイバへの入力パワーを増大させると、一定以上の光パワーではむしろ信号の S/N 比が劣化してしまうというものです。この課題を解決する技術として PSA の研究を進めています。従来の光増幅器では理想的な場合でも入力光の S/N 比を半分に劣化させてしまうのに対して、PSA では理論的には入出力の S/N 比を劣化させない増幅が可能になります。微弱な電気信号を計測するとき位相感応検出器(Phase Sensitive Detector:PSD)を基本にしたロックインアンプが良く用いられていますが、PSA は同様の低雑音増幅を光周波数領域で実現するものであると言えます。具体的には増幅する周波数 $\omega$ の光と位相同期した周波数 $2\omega$ の励起光を PPLN 導波路に入射すると上記の周波数混合により差周波光である周波数 $\omega$ の光が発生し、励起光と信号光の位相差に応じて信号と干渉を起こすため、位相に応じたパラメトリック利得が得られることとなります。この増幅器は励起光と位相の合った成分だけを増幅するために強度雑音が小さく、かつ入力の位相雑音も低減することが可能になります。これまでに PPLN 導波路を用いた PSA における低雑音増幅特性や光ファイバの中継器として用いた場合の伝送特性の改善効果などが明らかになりつつあります。

波長変換素子の通信応用と並行して上記の中赤外光源を用いた地球温暖化ガスの高感度センシングの研究も進めてきました。近年は電力中央研究所との共同研究で水耕栽培から発生する  $N_2O$  の高感度検出に取り組んできました。農業分野では窒素肥料により栽培を行います、過剰な肥料を与えると微生物が肥料を分解して温暖化ガスである  $N_2O$  を発生してしまうことが問題となっています。 $N_2O$  の大気中濃度は 300ppb と  $CO_2$  に比べて 3 ケタほど小さいのですが、温暖化係数が 300 倍程度あるために極めて微量な濃度のガスを検出する必要があります。波長変換素子による  $4.6\mu m$  帯光源を用いたガスセンサを試作し、水耕栽培したトマトから発生する  $N_2O$  リアルタイムセンシングを行うことで施肥条

件と  $N_2O$  発生との因果関係などが明らかになりました。

#### 4. 今後の研究

今後はこれまでの PPLN 波長変換技術の研究成果等を踏まえて以下の研究を進めてゆきたいと考えています。

1. 光通信ネットワークの大容量化に向けた低雑音 PSA の研究

研究に端緒をついたばかりの PPLN を用いた PSA には多くの課題があります。中でも多値変調信号の伝送には高い S/N 比が必要ですが、これまでの研究は 2 値の位相変調に信号フォーマットが限られており、多値変調フォーマットに対応可能な構成、伝送信号からの搬送波位相を効率的に抽出する方法、中継増幅を行った場合の伝送特性に与える影響等を明らかにしてゆきたいと考えています。

2. 光周波数標準の実現に向けた光コム発生と応用

マイクロ波等の電気信号で扱える周波数領域まではシenseサイザ等が市販されています。一方で光の発振器であるレーザの絶対周波数は大きなゆらぎを持っており、これが上記の PSA の実現や将来の光通信の大容量化の課題になると考えられます。光の絶対周波数の基準となる技術として光の周波数が櫛状に並んだ光コムと呼ばれる技術があります。光コムの簡便な発生方法や、PPLN 導波路を用いた絶対周波数安定化などの研究を進めたいと考えています。

3. 中赤外レーザ光源を用いた高感度ガスセンシング

波長変換により発生する中赤外光源を用いた高感度ガスセンシングと、その医療応用に挑戦したいと考えています。総合大学である東海大学に所属しているメリットを活かしてホルムアルデヒド等のシックハウス症候群原因物質のリアルタイムセンシングとその応用の研究を学内連携を通じて進めてゆきたいと考えています。

参考文献

- 1) M. M. Fejer, G. A. Magel, D. H. Jundt, and R. L. Byer, “Quasi-phase-matched second harmonic generation: tuning and tolerances” IEEE J. Quantum Electron., vol. 28, pp. 2631-2654, Nov. 1992.
- 2) M. Asobe, T. Umeki, and O. Tadanaga, “Phase sensitive amplification with noise figure below the 3 dB quantum limit using CW pumped PPLN waveguide” Opt. Express 20, pp.13164-13172 (2012)
- 3) A. Bononi, P. Serena, N. Rossi, “Nonlinear signal-noise interactions in dispersion-managed links with various modulation formats,” Optical Fiber Technology, 16, 73-85, (2010).