



## インターネット大容量光通信への応用に期待！ —分子の回転周波数での光波変調を世界最高の効率で実現—

### 概要

九州大学大学院工学研究院の財津慎一准教授、今坂藤太郎教授らの研究グループは、水素分子の回転運動周波数に一致する 17.6 テラヘルツ (テラヘルツは  $10^{12}$  ヘルツ) という超高周波数での、連続発振レーザー光に対する光波変調 (※1) を世界最高効率で実現しました。この研究成果は、従来の電気光学効果に基づいた光変調器の性能を飛躍的に向上させ、1 秒間に 10 兆回以上の繰り返し数で光パルスが発生する光源やインターネットなどの大容量光通信への応用が期待されます。

本研究成果は、2016 年 2 月 18 日 (木) 午前 10 時 (英国時間) に英科学誌 Nature 姉妹誌のオンラインジャーナル『Scientific Reports』で公開されました。

### 背景

光の特性を自在に操る技術は、科学の広範な分野において極めて重要です。光の特性を周期的に変化させる「光波変調」は、分光学、顕微観察法、光通信などの分野において、欠くことのできない要素技術です。それを実現する「光変調器」は、いわば極めて早い速度で開閉する光シャッターです。光波を変調するためには、周期的に特性の変化する物質を光波に作用させる必要があります。この物質の特性変化の周波数は、変調周波数と呼ばれています。この周波数が大きければ大きいほど、光波に載せる情報量を増加させることができます。これまでの光波変調では、電気光学効果や音響光学効果を発現する固体の非線形光学媒質 (※2) が一般的に利用されてきました。これら従来法では、変調周波数の最大値は、非線形光学媒質に印加する高電圧 ( $10^9$  ヘルツ程度) や音波 ( $10^6$  ヘルツ程度) の周波数で制限されていました。変調周波数の更なる高速化のためには、これまでとは全く異なる発想に基づいた方法が必要だと言われています。実際、このような超高速光波変調技術は、瞬間的な光強度が高い「パルス発振レーザー」を用いた新しい手法がいくつか提案されています。しかしながら、より実用性が高い「連続発振光」に対しては瞬間的な光強度が低いために、高い効率で  $10^{13}$  ヘルツを超える光波変調を実現する方法はこれまで存在しませんでした。

### 内容

本研究グループでは、気体分子のコヒーレント運動 (※3) を利用し、一般的な光波変調 ( $10^9$  ヘルツ) の 1 万倍以上の周波数で、連続発振光に対する光波変調に成功しました。運動する分子の分極率 (※4) は、その運動の周波数で変化していると考えられます。たくさん分子がランダムに運動している場合、その分極率の変化は平均化されて打ち消し合ってしまう。しかしながら、一部の分子をコヒーレントに (おなじタイミングで) 運動をさせることができれば、その分子集団に大きな分極率の変化を発現させることができます。気体分子の運動 (回転運動・振動運動) 周波数は、一般的にテラヘルツ ( $10^{12}$  ヘルツから  $10^{14}$  ヘルツ) の領域に存在します。従って、コヒーレントに励起された気体分子を光波に作用させることで、テラヘルツの周波数での光波変調を実現することができます。

本研究成果では、気体分子として 17.6 テラヘルツの回転運動周波数を有する水素分子を用いて、光共振器 (※5) を利用した誘導ラマン散乱過程 (※6) を介して、共振器内に充填された水素分子のコヒーレント回転運動を連続的に引き起こしました。励起された水素分子と、波長 855.8 nm の近赤外連続発振光を同じ共振器内で相互作用させ、水素分子の回転運動周波数に一致する 17.6 テラヘルツでの光波変調を実現しました (図 1・図 2 参照)。この成果の最大の特徴は、光共振器の有する分散 (※7) を最適化することによって、変調効率の飛躍的な向上 (先行研究に対して最大 4000 倍) を実現したことにあります。これは共振器の分散がゼロに近づくことによって、光波変調過程において効率を決定する位相整合条件 (※8) が満足されたことが原因です。本研究グループでは、この新しい光変調器を「分子光学変調器」と呼んでいます。

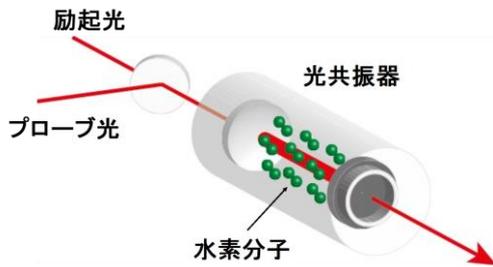


図1 分子光学変調器の模式図

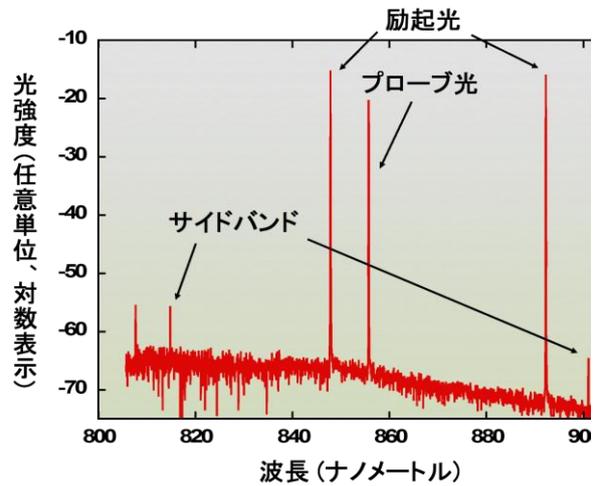


図2 出力光のスペクトル。光波変調の結果として、2本のサイドバンドが発生している。

## ■効果

本研究成果は、これまでの電気光学効果に基づいた光変調器における高速化の限界を打破するものであり、光通信や精密分光学といった光科学・工学の分野で広く利用される可能性があります。特に、この光変調器を組み込んだ新しいレーザー光発生装置として、「分子変調モード同期レーザー」の実現が期待されます。これは、分子の運動と同じ繰り返し周波数で超短光パルスが発生する装置であり、1秒間に10兆回を超える繰り返し数での光パルス発生が期待できます。このような画期的な光源は、超大容量の情報を伝送するための新しい光源としてインターネットなどの情報伝送量を飛躍的に増加させる可能性があります。また、光と物質との新しい相互作用の探求において、これまでにない新しい展開をもたらすと期待されます。

## ■今後の展開

上述したような応用展開を実現するために、光変調効率の更なる向上が必要となります。現状の変調効率は、共振器を構成する高反射鏡の有する分散特性で制限されています。最適な分散特性を有する高反射鏡を設計・作製し、実験装置に組み込むことで、飛躍的な光変調効率の向上を実現できます。このような光共振器を組み込んだ光変調器は、更なる小型・モジュール化も可能です。光ファイバーと一体になったデバイスとしてパッケージ化することで、インターネットなどでの大容量情報処理光システムで実際に利用できるデバイスの実現を目指した研究を展開していきます。

## ■用語解説

- (※1) 光波変調：光波の特性を周期的・準周期的に変化させること。
- (※2) 非線形光学媒質：印加する光の強度に依存して物性が変化する媒質。
- (※3) 分子のコヒーレント運動：数多くの分子がばらばらにではなく、同じタイミングで揃って運動している状態。
- (※4) 分極率：分子などの誘電体中で、正と負の電荷が分離している程度を示す値。
- (※5) 光共振器：複数枚の高反射鏡を向き合わせた配置で構成される光波を閉じ込めるための装置。
- (※6) 誘導ラマン散乱過程：物質の運動周波数に一致する周波数差を有する光波が、その物質と効率よくエネルギーをやり取りする過程。
- (※7) 分散：周波数の異なる光波が、物質中を伝搬した結果生じる位相差の周波数依存性。
- (※8) 位相整合条件：物質中を伝搬する周波数の異なる光波が、位相関係を変化させない条件。

### 【お問い合わせ】

九州大学大学院工学研究院／九州大学未来化学創造センター  
准教授 財津 慎一 (ざいつ しんいち)  
電話：092-802-2884  
Mail：s-zaitu@cstf.kyushu-u.ac.jp

九州大学大学院工学研究院／九州大学未来化学創造センター  
教授 今坂 藤太郎 (いまさか とうたろう)  
電話：092-802-3294  
Mail：imasaka@cstf.kyushu-u.ac.jp