

赤外域・紫外域の高強度レーザー

猿倉信彦

総合研究大学院大学助教授光科学専攻／自然科学研究機構分子科学研究所助教授

超短パルスや超強力パルスをつくれるレーザーは分子科学の研究に欠かせないが、これまでは波長範囲が可視光付近に限られていた。波長範囲を赤外光や紫外光にまで広げるために、精力的な研究が行われている。

光は大きく自然光とレーザー光とに分けることができる。レーザー光は自然光に比べてはるかに高い輝度、指向性、スペクトル純度をもつ。この光を得ることによって、人はこれまで捉えられなかった現象を「観る」ことができる新しい「知覚」を手に入れた。

このレーザー光が最初に実現されたのは1960年であるが、その後急速に発達し、発達につれて常に新しい「知覚」を生み出してきている。現在では、10フェムト秒^{*1}以下の超短パルスや、テラワット(10^{12} W)を超えるピークパワーのパルスも発生させることができる。このようなレーザーを用いると、超高速現象を観測したり、超高強度、超高压、超高密度等の極限状態下での物理現象を解明するな

ど極限の現象を「観る」ことができる。

このように、レーザーを用いて観測できる現象を広げるためには、より広い波長領域でのレーザー開発が期待されている。そこで、われわれはさらなる新しい「知覚」を創造するために、人の目で捉えられる可視光よりも波長の長い赤外光と、波長の短い紫外光の領域において、安定で強いレーザー光をつくり出している。

赤外光源の開発

可視域よりも波長の長い赤外領域は大きく三つの領域に分けられ、可視域に近い順に近赤外、中赤外、遠赤外領域と呼ばれる。この幅広い領域の中でも、われわれは特に中赤外から遠赤外領域にあ

る、周波数にして0.1~100テラヘルツ^{*2}(THz) 付近の領域のレーザー光源開発にターゲットを絞っている。

この領域は、10年ほど前までは光源や検出器の開発が十分に進んでいなかったこともあり、未開拓の領域と言われてきた。そこで近年、周波数帯域がテラヘルツ付近にあるこの領域を「テラヘルツ領域」と称し、多くの研究者がさまざまなアプローチによる研究を行っている。

われわれは、磁場中においた半導体基板にチタンサファイアレーザーからの超短パルスレーザー光を照射することで、従来光源に比べて非常に高い平均出力のテラヘルツ電磁波を発生させることに成功している。このテラヘルツ電磁波の発生および磁場による増幅現象を詳しく調

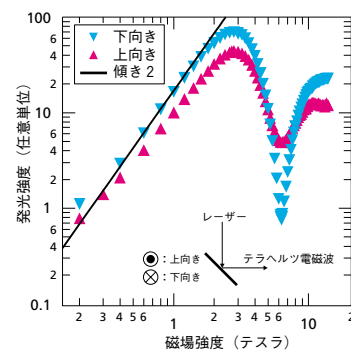
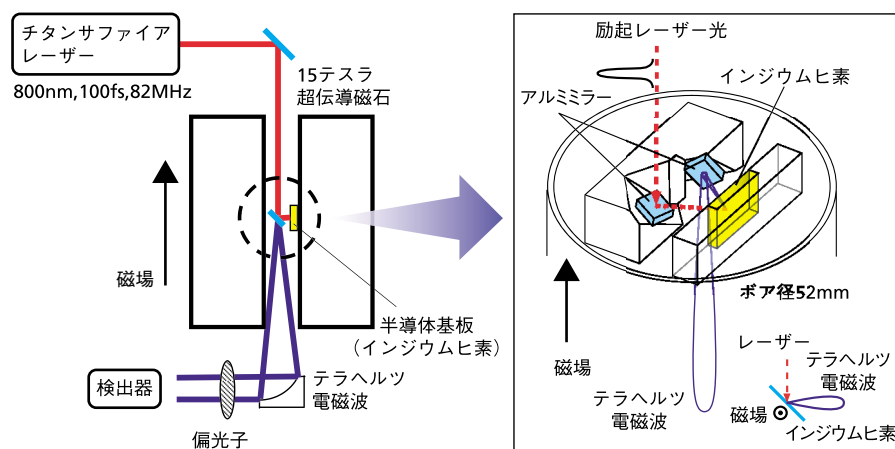


図1 テラヘルツ電磁波の発生と磁場依存性。磁場の中で半導体（インジウムヒ素）基板にチタンサファイアレーザーのパルスをあてると、テラヘルツ電磁波が発生する（左）。磁場を上向きにかけると、下向きにかけると発生する電磁波の強度は異なる（右）。ここには示さないが、電磁波の周波数分布も磁場の向きによって異なる。

べると、特異な物理現象が数多く見つかる。

これらの現象が起こるメカニズムを解明し、さらに出力の高い光源を実現するために、最近では世界でも有数の超伝導磁石を用いて15テスラという超高磁場下でのテラヘルツ電磁波発生実験も行っている。図1はその実験のようすの模式図とその結果である。この実験によって、磁場による増幅メカニズム解明のための貴重なデータが得られたのみならず、超強磁場中で半導体がテラヘルツ電磁波に対して透明になるという新たな興味深い現象も観測されている。

このように、テラヘルツ領域の研究は、光源に関するわれわれの研究のみを見ても物理学的観点から非常におもしろい広がりを見せている。もちろん、この光源は、非破壊非接触の計測や、テラヘルツ領域にある各物質特有の吸収スペクトルを利用した薬物等の物質同定といった実用的な応用から、最近ではタンパク質の機能解析などの生物学的研究にも用いられるようになっており、人の「知覚」の広がりに一役買っている。

紫外光源の開発

もう一つの研究対象は可視域よりも波長の短い紫外領域である。この領域では、三つのアプローチで光源開発を行っている。

図2の写真はチョコラルスキー法^{*3}によって成長させた“ライカフ”という名の結晶である（成分は LiCaAlF_6 ）。現在、半導体リソグラフィ用の光学材料としてフッ化カルシウム（ CaF_2 ）が用いられているが、ライカフ結晶のほうがこれより短い波長まで非常に高い透過特性をもつことをわれわれが見だし、次世代の紫外光学材料としても高く評価されるようになった。

このライカフ結晶にセリウムイオンを添加すると、紫外領域で光を発するようになる。図3はその光をストリークカメラと呼ばれる装置で観察したデータである。この結晶を用いたレーザーシステムを構築することによって、ガスをを用いた



図2 セリウムライカフ結晶（右）写真提供：猿倉信彦

従来のシステムのサイズ、ランニングコスト、安定性といった問題点を解決した高出力レーザーを実現している。

また、この結晶以外にも、従来、表面弾性波素子に用いられていたリチウムテトラボレート（ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）を非線形結晶として使用し、赤外・可視レーザーからの波長変換による紫外レーザー光の発生を実現している。この結晶は他の非線形結晶に比べて簡単に大きな結晶がつかれ、劣化しにくいという優れた特性を備えている。

さらに最近では、フッ化物を用いて、紫外領域でも最も波長の短い真空紫外領域での半導体レーザー開発のための研究を始めている。従来、放射光施設を利用しなければならなかった計測も、このような光源が実現すれば、簡便に行えるようになる。このように、これまでではなかった光源を実現することによって、新しいことを「観る」ことを可能にする「光」をつくり出し、新たな「知覚」を生み出している。

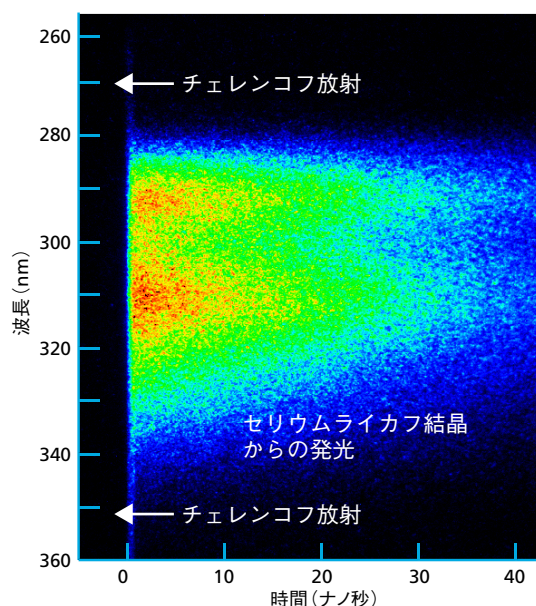


図3 電子ビームで励起したセリウムライカフ結晶からの発光のストリークイメージ。時間を追って波長ごとの強度を測定したものの。290nm付近、320nm付近のピークが数十ナノ秒にわたって持続するのがわかる。

- *1 1 フェムト秒＝ 10^{-15} 秒（1000兆分の1秒）
- *2 1THz（テラヘルツ）＝ 10^{12} Hz（1兆周期／秒）
- *3 融体に種結晶を浸けてゆっくり回転させながら引き上げ、単結晶を成長させる方法。



猿倉信彦（さくら・のぶひこ）

特異な新物性あるいは優れた潜在的特徴を備えた新物質も、その具体的な機能活用方向性が見いだされない限り新材料とはなりえない。物性科学から光科学やデバイス工学にいたる幅広い領域での知識や問題意識をもち、光工学の対象となる領域で新物質を発掘し新材料に育て上げることや、既存の材料や既知の物質の新しい観点での新機能発現を研究目標と定め、近年の研究活動を続けている。
写真提供：猿倉信彦