

# 電気励起高帯域ランダム テラヘルツレーザは高い指向性を示す

商用コヒレントテラヘルツ光源は、量子カスケードレーザ(QCL)の形で10年以上前から存在する。これらは分光学とイメージングの両方、時にはセキュリティアプリケーションで有用である。しかし、従来のテラヘルツQCLの大きな難点の1つは、それがサブ波長閉じ込め構造であるためにビームの発散が非常に大きいことである。

オーストリアのウィーン工科大(TU Wien)とオーストリア科学アカデミーの研究グループは、あるレーザコンセプト、ランダムレーザを利用することで発散問題に対するソリューションを考えついた。ランダムレーザは、数年前から、フォトニクス研究でよく見られるレーザコンセプトである。

ランダムレーザは一般に、多くの散乱点を持ち、その散乱点はレーザキャビティ内にランダムに、あるいは疑似ランダムに分布している。これが多数のレーザモードを作り、モードはキャビティ内の散乱体から散乱体へとループしている。可視や近紫外用のランダムレーザは、どちらかと言うと多結晶散乱体をベースにしているが、波長が3ケタ長いテラヘルツ領域では、状況は非常に異なる。実際、その状況は遥かに簡単である。研究者たちは、光を垂直に散乱させて出すために、面内キャビティにランダム空孔を作ることで簡単に散乱体を作製した(図1)。結果として得られたデバイスから高帯域発光が得られる(中心波長約3.9THzで0.4THz帯域)。これは大きなキャビティ径から、ほぼ回折限界といえる狭い遠視野出力である<sup>(1)</sup>。

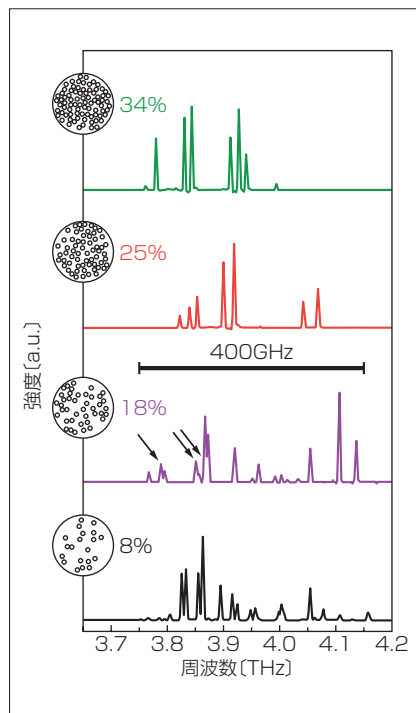


図1 500 $\mu\text{m}$ 径円形薄膜テラヘルツ量子カスケードレーザ(QCL)キャビティ構造は、不規則に配列された20 $\mu\text{m}$ 径の空孔が開けられており、これらの空孔が発光を垂直方向にコヒレントに散乱させる。空孔のフィルファクタ(充填率)は、それぞれ34%、25%、18%、8%であり、4種の実験デバイスからの広帯域発光スペクトルを示している。

## 異なる空孔充填率

そのようなレーザは、ランダム配列された空孔が、各々が所定の偏光方向を持つ位相双極子エミッタで時間的にコヒレントであると仮定することで、簡易的な方法でモデル化できる。全ての偏向が整列すると、結果は回折限界ビームとなる建設的干渉である。全てが最大限非整列であれば、有害な干渉効果が結果となる。中間的な偏向整列は、最大ではないが、ある程度の建設的な干渉になる。

レーザをより高度な3D、またバク

トル的方法でモデル化すると、3.9THzを中心とする400GHzの実験帯域に一致する。また、円形ではあるが、キャビティは、空孔の制約を受けるために、ウイスパリングギャラリモードをサポートしないことが明らかになっている。

実験では、10 $\mu\text{m}$ 厚平面電気励起半導体円形構造がキャビティの機能を果たしている。QCLは単極動作(電子・ホール対ではなく、電子だけ)するので、レーザの電気的動作に影響を与えることなくキャビティはほぼ自由に形を決められるという事実を研究者は利用している。したがって、研究者はさらに先に進んで20 $\mu\text{m}$ 径の空孔をランダムにキャビティに開けた。空孔の充填率がそれぞれ34%、25%、18%、8%の様々なバージョンを作った。

デバイスのヒートシンクは5Kまで極低温冷却した。ただし、デバイス自体の温度は最高130Kとなっていた。垂直方向のピーク出力パワーは、稠密充填孔のパターンで40mW、低密パターンではもっと低かった。レーザ発振の発散角は、18%充填率のレーザの全半値幅が約7°だった。これは回折限界に近いので、キャビティ面の空孔からのほとんどの発光が互いに同調していることを示唆している。

このランダムQCLが電気励起であることは、言うまでもなく、それを低発散テラヘルツ光源として今後利用する際の利点になる。

(John Wallace)

## 参考文献

1. S. Schönhuber et al., *Optica* (2016); <http://dx.doi.org/10.1364/optica.3.001035>.