

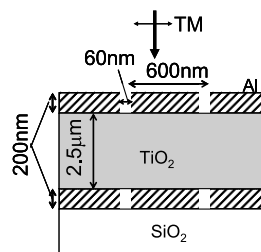
## 2層の金属サブ波長格子を用いた中赤外ファブリー・ペロー干渉計

Compact Middle-Wave Infrared Fabry-Perot Interferometer with Double Metallic Subwavelength Gratings  
[G. Kang, I. Vartiainen, B. Bai, P. Pääkkönen and J. Turunen: Opt. Lett., 36, No. 6 (2011) 1011-1013]

ファブリー・ペロー (FP) 干渉計などの分光器は、中赤外域においてメタンや一酸化炭素などの有害ガスの吸収スペクトルが得られることから、高感度ガス検知への応用が期待されている。しかし、従来の中赤外 FP 干渉計は屈折率差の少ない2種類の半導体材料を組み合わせた多層膜構成のため、20層以上の厚さが必要であった。著者らは、図に示すような2層の金属サブ波長格子の間に、二酸化チタン層をはさんだコンパクトなFP干渉計を設計および作製し、評価している。2層の金属格子はそれぞれミラーとして働き、共振器内でFP共鳴が起こることで、金属スリット開口比の5倍の透過率(最高70%)が得られる。また、金属格子のスリットや厚さを変えることで、共鳴波長やフィネスを微調整できることを示している。電子線描画とドライエッチングでアルミニウム格子を作製し、蒸着で二酸化チタンを成膜した。1層目と2層目のスリット位置がずれた場合でも、層間が十分離れているため、透過率への影響はなかった。試作した素子の測定値はほぼ計算値と一致していたが、波長4 $\mu\text{m}$ を超えると二酸化ケイ素基板が不透明になって透過率が落ち、計算値とずれてしまった。(図3、

文献14)

あえてプラズモン共鳴を利用せずに、単純なFP共鳴を用いることで、光吸収を抑えて高透過率を得ている。今後は、このFP干渉計がコンパクトなことを生かし、エリアセンサー上に作り込むことで、面計測への発展が期待される。(水谷 彰夫)



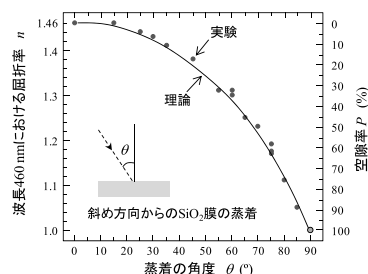
提案する中赤外ファブリー・ペロー干渉計の模式図

## 広帯域で指向性のないガラス用多層ナノ構造反射防止コート

Nanostructured Multilayer Tailored-Refractive-Index Antireflection Coating for Glass with Broadband and Omnidirectional Characteristics  
[S. Chhajed, D. J. Poxson, X. Yan, J. Cho, E. F. Schubert, R. E. Welsler, A. K. Sood and J. K. Kim: Appl. Phys. Express, 4, No. 5 (2011) 052503]

広帯域で指向性のない反射防止コートを作製するには、精密な膜厚の制御と低屈折率材料の開発が必要となる。著者らは、低屈折率材料として多孔性のSiO<sub>2</sub>膜を用いて反射防止コートを作製した。多孔性のSiO<sub>2</sub>膜は、基板面に対して斜め方向から蒸着する方法で作製している。基板に対する蒸着の角度を大きくすると孔の空隙率も大きくなることから、蒸着の角度を制御することで、SiO<sub>2</sub>膜の屈折率を1.05から1.40まで調節することができる。著者らは2層からなる反射防止コートを作製し、波長350~1700 nm、入射角0~40 degにおける透過率を測定したところ、コートなしでは平均透過率92%であったのに対し、ガラス基板の両面にコートしたときは平均透過率98.3%に改善された。(図4、文献23)

劣化がないことを確認しているが、より詳細な耐久性性能の評価が待たれる。(田中 優紀)



屈折率および空隙率と蒸着の角度との関係

本論文の多孔性のSiO<sub>2</sub>膜を用いた反射防止コートはリソグラフィ技術を用いないので、比較的容易に作製可能であり、実用化への期待がもてる。著者らはこれまでにテープを用いた剥離試験で性能

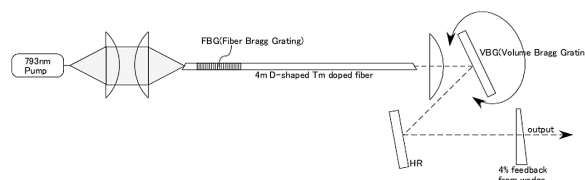
## マルチモードファイバーレーザーのモード選択の新手法

Novel Technique for Mode Selection in a Multimode Fiber Laser  
[J. M. O. Daniel, J. S. P. Chan, J. W. Kim, J. K. Sahu, M. Ibsen and W. A. Clarkson: Opt. Express, 19, No. 13 (2011) 12434-12439]

高パワーのファイバーレーザーでは、コアでの非線形効果を回避するためにコア径の大きなファイバーを用いるが、その際、発振モードを制限してビーム品質の高いレーザーを発生させるために、LMA (large mode area) ファイバーなどが使われる。しかし、こうしたファイバーは構造が複雑で高価であり、コア径の拡大の自由度が低いという課題があった。著者らは、コア径 $\phi 18 \mu\text{m}$ 、NA 0.22のTmドープファイバーを用いた発振器中に、発振波長および発振モードの組み合わせを制限するFBG (fiber Bragg grating) と、発振波長を選択するためのVBG (volume Bragg grating) を設置し、VBGの角度を制御することで発振モードを選択する構成を提案した。VBGを平面ミラーに置き換えた予備試験では、ビーム品質 $M^2=3.3$ のマルチモード発振であったが、VBGの角度調整により、波長1923 nmのLP01モードの発振、波長1919 nmのLP11モード発振を切り替えられることを実証した。LP01モード発振時のビーム品質は $M^2=1.05$ とほぼ回折限界であった。励起パワー33 W時の発振パワーは、LP01モード時で2.6 W、LP11モード時で3.6 Wである。スロープ効率がおよそ11%およ

び16%と低いのは、ファイバー中にFBGを書き込むためにファイバー中に水素を導入したためであり、水素を導入する領域を制限することなどで効率化、高パワー発生が可能である。(図4、文献11)

ファイバーレーザーのメリットのひとつであるロバスト性は損なわれるものの、比較的簡単な構成でリアルタイムにモードを選択できるのは魅力である。今回は低パワーでの実証にとどまっているが、より高パワーでの実証を期待する。(桂 智毅)



Tmドープファイバーレーザーのモード選択試験配直

固体レーザーを用いた周波数混合によるコンパクトテラヘルツ波発生源のパワースケーラビリティと周波数可変性

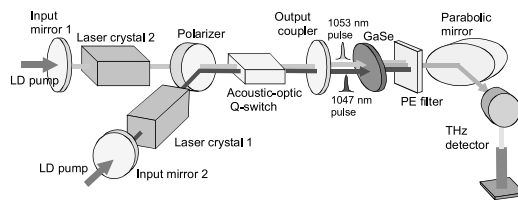
Power Scalability and Frequency Agility of Compact Terahertz Source Based on Frequency Mixing from Solid-State Lasers

[P. Zhao, S. Ragam, Y. J. Ding and I. B. Zotova: Appl. Phys. Lett., 98, No. 13 (2011) 131106]

固体レーザーからの2つの異なる周波数の光を非線形結晶内で混合すれば、その差周波数の高出力テラヘルツ (THz) 波を発生できる。本論文では、2つの異なるレーザー結晶を有する固体レーザーを用いることで出力パワーを向上させた、コンパクトなテラヘルツ波発生源が報告されている。波長 1047 nm と 1053 nm 用の2つのレーザー結晶と偏光板を用いることで、一部を共有した2つの共振器を構成した。それぞれのレーザー結晶は別々のレーザーで独立に励起され、共有アーム内に音響光学 Q スイッチを配置することで同期した高出力二波長パルスが得られる。これらを共振器直後に配置した GaSe 非線形結晶で周波数混合し、テラヘルツ波を発生させる。Q スイッチ繰り返し周波数を 5 kHz として波長 1047 nm と 1053 nm のレーザー出力パワーを測定したところ、最大出力はそれぞれ 2.80 W と 1.92 W であった。GaSe 結晶 (長さ 15 mm) への入射光パワーが計 4.24 W のとき、最大平均パワー 4.46 μW のテラヘルツ波 (周波数 1.64 THz) が得られた。またレーザー結晶を別のものに置き換え、波長 1053 nm (1.98 W) と

1064 nm (1.71 W) の光を周波数混合することで、周波数 2.98 THz (平均パワー 2.09 μW) のテラヘルツ波発生にも成功した。(図 4, 文献 9)

本論文では、2つの異なるレーザー結晶を用いることで、テラヘルツ波出力パワーを大幅に向上させた。波長 1.03~1.1 μm をカバーする 100 以上のレーザー結晶が知られており、任意の周波数の高出力テラヘルツ波発生が期待できる。(上向井正裕)



二周波数固体レーザーを用いた高出力テラヘルツ波発生源の構成図

テラヘルツ電磁波対応の軸外し金属回折レンズ

Off-Axis Metallic Diffractive Lens for Terahertz Beams

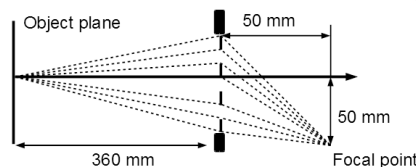
[A. Siemion, A. Siemion, M. Makowski, M. Sypek, E. Hérault, F. Garet and J.-L. Coutaz: Opt. Lett., 36, No. 11 (2011) 1960-1962]

近年、テラヘルツ電磁波を利用した分析やセキュリティーシステムの開発が活発に行われている。該当領域に適用される光学素子として、誘電体レンズや金属の反射型回折格子が用いられているが、誘電体レンズでは幾何収差や基板での吸収があり、また金属格子では集光性に問題を有している。著者らは、テラヘルツ電磁波帯で広帯域な分光特性と集光特性を両立した、軸外し光学素子として最適化された金属回折レンズの設計と製作について報告している。軸外し金属回折レンズは有効径 40 mm であり、基準周波数 0.5 THz のテラヘルツ電磁波が回折レンズを通して、距離 50 mm、光軸との角度 45° の地点で結像されるように設計した。このとき、レンズの外形は曲線のグレーティング構造で構成される。また、曲線のグレーティング分布を有する回折レンズの製作は、厚さ 0.8 mm のステンレス板上にレーザー加工装置による穴あけ加工にて行っている。製作された軸外し金属回折レンズをテラヘルツ時間領域分光法とゴニオメーターとの構成にて光学評価したところ、出射角度 20~55° の間で、周波数 0.44~1.00 THz の広

帯域な周波数の選択性と集光機能を両立していることが述べられている。(図 5, 文献 10)

テラヘルツ電磁波帯域に利用できる光学材料の自由度は限られている。しかし、幾何光学と波動光学の複合設計のテクニックを十分に活用することによって、問題を解決する糸口ともなり得る。回折効率が約 10% と低いのが懸念されるが、効率の改善が今後の課題であろう。本分野のさらなる独創的な光学システムの実現を期待したい。

(岡野 正登)



軸外しで構成されたテラヘルツ電磁波対応金属回折レンズ

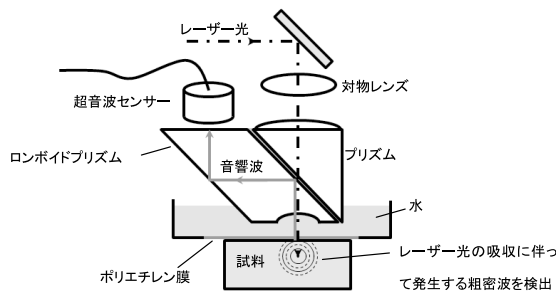
光学解像度を有する次世代光音響顕微鏡の感度および測定速度改善

Second-Generation Optical-Resolution Photoacoustic Microscopy with Improved Sensitivity and Speed

[S. Hu, K. Maslov and L. Wang: Opt. Lett., 36, No. 7 (2011) 1134-1136]

光音響顕微鏡を生体試料の測定に適用する研究が進められている。光音響顕微鏡では変調したレーザーを試料内に照射し、試料がレーザー光を吸収して膨張する際に発生する粗密波を音響波として検出することにより、試料内での吸収率の分布を測定する。従来、光音響顕微鏡の空間分解能は検出する音響波の周波数に依存しており、空間分解能と測定深度との両立が困難であった。著者らはこれまでに、レーザー集光光学系と音響波検出系を同軸上に配置することにより、光音響顕微鏡の空間分解能と測定深度を共焦点顕微鏡と同程度にまで高め、生体内の毛細血管等の観察を行ってきた。本論文では、レーザー集光光学系と音響波検出系の経路を合成するヘッド部分にロンボイドプリズムを使用することにより、これまでの光学系と比較して音響波の検出効率を改善できることを報告している。実験では、波長 570 nm のレーザーを使用した場合に、測定深度 1.2 mm、空間分解能 2.6 μm を達成し、空間分解能と測定深度とを両立できることを示している。また、提案手法を適用した顕微鏡ヘッドを二次元走査してマウス耳部の毛細血管を観察し、ヘモグロビンの密度分布を測定している。(図 6, 文献 8)

音響光学顕微鏡は造影剤を使用することなく毛細血管をイメージングできる手法として、医療診断への適用に向けて研究が進められている。提案手法を適用することにより、簡易な構成で感度のよい測定が可能となると考えられ、内視鏡等への応用が期待される。著者らの今後の動向に注目したい。(生野 恵子)



次世代光音響顕微鏡ヘッド部の概念図