

研究紹介

柳谷 高公

神島化学工業（株）セラミックス事業部

多結晶セラミックス（焼き物、以後単にセラミックスと記す）は食器や耐火物のように不透明なものとして広く知られている。しかしながら、原料粉末の高純度化や易焼結性化により、光機能を有するセラミックスの作製も可能となる。高圧ナトリウムランプに用いられる透光性アルミナが代表例である。この透光性アルミナの開発において検討された因子は、図 1 に示す通り媒質内の光の散乱因子を取り除くことであった。アルミナは三方晶系の結晶であり、結晶面毎に屈折率が異なる。そのため、セラミックスにおいては粒界で光の散乱が発生することとなる。結晶面による屈折率差の無い立方晶系の結晶を用いれば、この問題は解決される。

立方晶系結晶の利用に加えて、昨今の技術の進展による各種因子の精密制御（セラミックス原料の更なる高純度化、高密度成形、高度の焼結挙動制御等）によりレーザー応用可能な透明媒質の開発を主テーマとして研究を進めている。

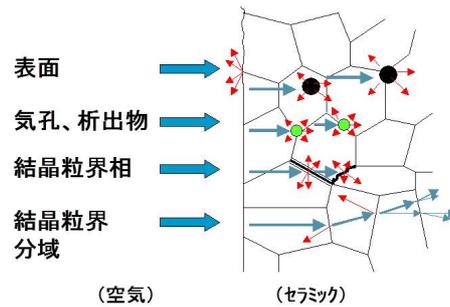


図 1. セラミックスにおける光の散乱源

① Yttrium Aluminum Garnet (YAG) セラミックス

ファイバーレーザーの出現により市場規模は大きく縮んだが、Nd:YAG 単結晶を用いた YAG レーザーは固体レーザーの代名詞とまで言われていた。2000 年からの神島化学工業株式会社と電気通信大学との共同研究により、Nd:YAG セラミックスの光学特性は単結晶に遜色ないことが明らかとなった。セラミックス技術の特徴として次の 3 つが挙げられる。「原料粉末を固めて焼くだけ」という単純な手法の為、(a) 大口径化が可能、(b) 大量生産が容易、そして (c) 個々の構成結晶がマイクロサイズの為結晶欠陥が少なく、単結晶と比較して硬度・強度が高くなり、光学加工が容易となる。

この共同研究以降 YAG レーザーも再度注目を集めるようになり、Nd:YAG、Yb:YAG、Cr:YAG、Er:YAG、Sm:YAG セラミックス等が産業用及び大出力用レーザー媒質として検討され、採用がすすんでいる。

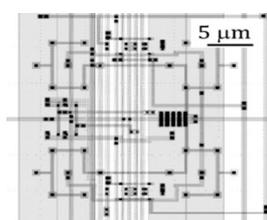


図 2. レーザー用 Nd 添加 YAG セラミックス

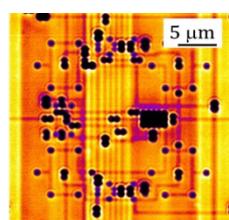
②Lutetium Aluminum Garnet(LuAG)セラミックス

YAG セラミックスはレーザー結晶用途以外にも利用可能である。例えば Ce:YAG は高エネルギー用シンチレーターや白色 LED 用蛍光体として用いられている。シンチレーター用途では、厚みによる発光のにじみを押えて発光位置精度を高めるため、極薄い結晶が求められている。高エネルギー線のストッピングパワーを高めるには、原子量の大きな元素をその構成元素に用いることが有効である。そこで開発したのが Yttrium よりも重い Lutetium を用いた LuAG セラミックスである。

図 3(b)は 5 μm 厚みの Ce:LuAG セラミックスを用いた大規模集積回路の X 線透過像で、光学系の回折限界に近い分解能が得られている。なお、本材料は単体では薄すぎてハンドリング出来ないため、活性元素無添加の LuAG との接合体(⑤に記す)として使用されている。



(a)超大規模集積回路の設計図



(b)X 線透過像

Copyright 2019 Optical Society of America.

図 3. LuAG セラミックスシンチレーターを用いた X 線イメージング検出器の性能検証

③Terbium Gallium Garnet(TGG)、Terbium Aluminum Garnet(TAG)セラミックス

レーザー加工対象物からの戻り光の影響防止を目的として、ファラデー媒質（磁気光学媒質）を用いたファラデー素子を使用されている。従来、この用途では TGG 単結晶が用いられてきた。本材料をセラミックス技術により作製したところ、単結晶同等のファラデー効果を示すことがわかった。

大出力レーザーにおいては多段増幅器の後段からの戻り光の影響除去が必要となる。セラミックス技術によりファラデー媒質の大型化が可能となった。光学損傷を避けるための大口径ファラデー素子を構築できるため、高平均出力動作のみならず、大パルスエネルギー動作への適用検討も進められるようになった。

TAG セラミックスは、TGG セラミックスの特性改善（磁気光学特性並びに熱伝導性の改善）を目的として開発している。



図 4. TAG セラミックス(10×30×5mm)

④希土類セスキオキサイド

以上は全てガーネット構造結晶であるが、立方晶系結晶であるイットリア (Y_2O_3)、ジスプロシア (Dy_2O_3)、ホルミア (Ho_2O_3)、エルビア (Er_2O_3)、イッテルビア (Yb_2O_3)、ルテシア (Lu_2O_3)、スカンジウム (Sc_2O_3)の透明体開発も可能と考え開発に着手した。図 5 に試作例を示す。応用例としては、 $Yb:Y_2O_3$ と $Yb:Sc_2O_3$ セラミックスの組合せによる、フェムト秒のレーザー発振がある。

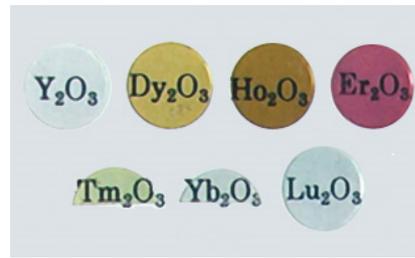


図 5.セスキオキサイドセラミックス

⑤結晶の接合技術

レーザー媒質内の熱分布の改善目的や、大出力レーザーにおける寄生発振の防止を目的として、接合結晶が利用されている。セラミックス同士の接合方法として、(i)拡散接合法、(ii)焼結接合法、(iii)室温接合法を開発した。

(i)拡散接合法はガラスや単結晶でも用いられている手法であり、接合したい面を鏡面に加工した後オプティカルコンタクトさせ、次いで物質移動可能な温度以上に加熱して両媒質の相互イオン拡散により接合する。本手法は、熱膨張率の等しい媒質にのみ適用しうる。

(ii)焼結接合法は、セラミックスでのみ可能となる接合法である。焼結途上にあるセラミックスの接合面を鏡面近くまで磨き、組み合わせた後焼成する。本手法では、接合面においても体積拡散による粒成長が進行し、接合面においても媒質同等の微構造が形成される。オプティカルコンタクトするまでの精密平面は必要としない点がメリットとなる。

(iii)室温接合法は、接合したい 2 つのセラミックスの接合面を鏡面研磨したのち、1 軸プレス機構を有する高真空のチャンバー内に対向させてセットする。各セラミックスの接合面を Fast Atom Beam (FAB) の照射によって活性化処理し、プレス圧をかけて接合する。結晶の温度変化がないため、熱膨張率に差のある結晶の接合も可能となる。

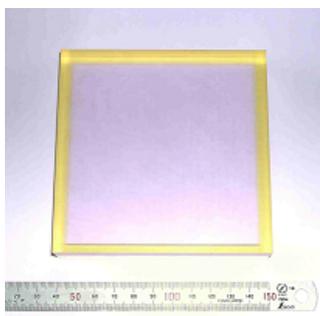


図 6. Sm:YAG/Nd:YAG 拡散接合セラミックス



図 7. Cr:YAG/Yb:YAG 焼結接合セラミックス