

新しいタイプの異方性セラミックレーザー材料の開発に成功
—結晶粒を光の波長の約 10 分の 1 に制御する合成手法を確立—

国立大学法人北見工業大学の古瀬裕章准教授、国立研究開発法人物質・材料研究機構の金炳男グループリーダー、国立大学法人東京医科歯科大学の堀内尚絃助教らの共同研究チームは、この度、新しいタイプの異方性セラミックの透明化と、そのレーザー発振の実証に初めて成功しました。多結晶セラミックは単結晶と比較して様々な利点（例えば大口径化、複合化等）を有していますが、通常、多数の結晶粒で構成される多結晶セラミックでは、結晶方位に対して一様な屈折率を持つ立方晶系材料でしかレーザー品質の透光性が得られておらず、非立方晶系材料（サファイアやアパタイト）は単結晶のみが実用されていました。

しかし、非立方晶系材料においても結晶粒径を光の波長の約 10 分の 1 に抑制することで粒界散乱を低減でき、極めて高品質な透明セラミックが作製できること、そしてレーザー発振に至ることを明らかにしました。同様のアプローチは国内外の研究者らによって試みられてきましたが、レーザー発振に至ったのは本研究が初めてです。

非立方晶系材料の場合は、結晶方位に対して屈折率が異なるため（複屈折）、粒界散乱の影響を強く受けてしまいます。粒界での散乱の大きさは、以下の式で表すことができます。

ここで、 d は結晶粒の大きさ、 Δn は屈折率異方性、 λ は光の波長、 V は異方性結晶粒の有効体積率です。この式から、 Δn は材料固有の物性値であるので、結晶粒の大きさ d を可能な限り小さくすれば粒界での散乱を抑制することがわかります。（図 1）

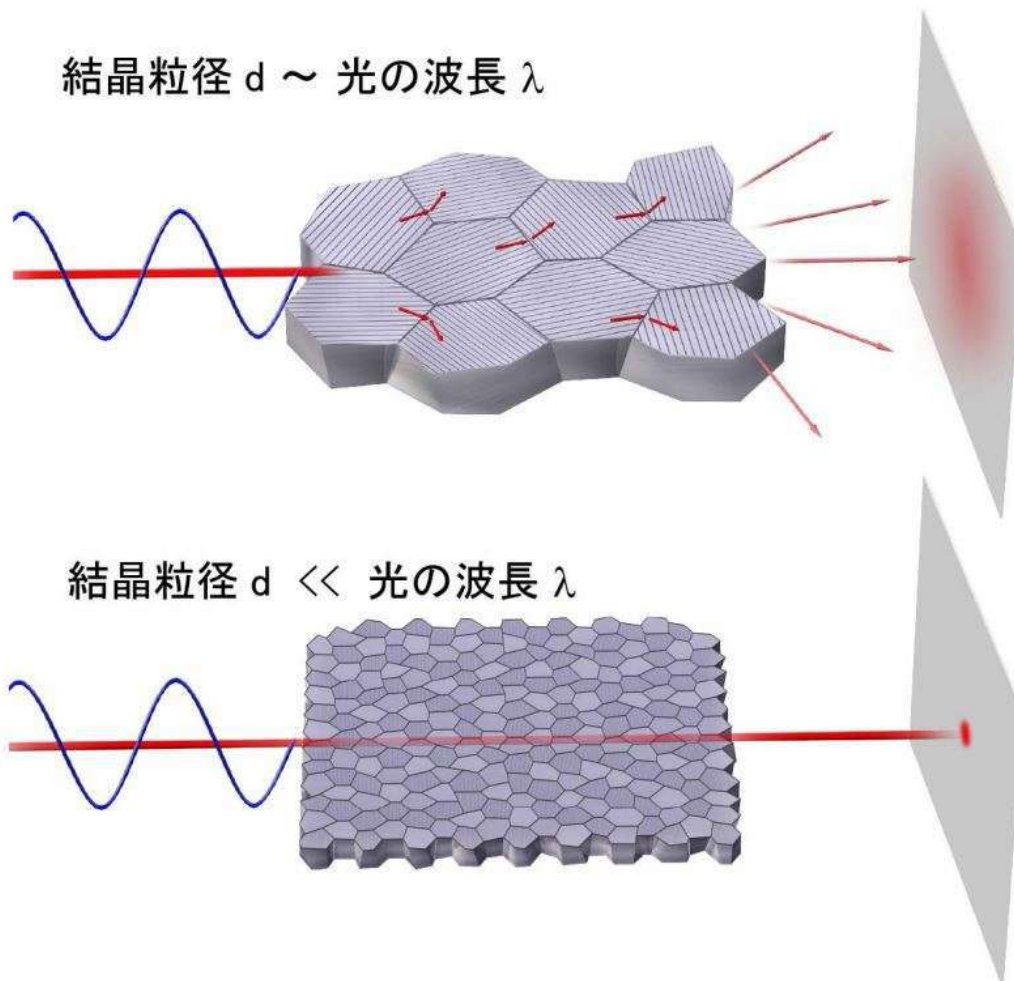


図1：非立方晶系セラミックス内の粒界散乱の概念図。（上）結晶粒径が光の波長と同程度の場合、結晶方位によるわずかな屈折率の違いによって光が粒界を通るごとに散乱を受ける。（下）結晶粒径が光の波長より十分に小さい場合、粒界散乱が低減し、レーザー光の直線透過率が向上する。

本共同研究チームでは、「粉体工学」、「粉末冶金学」、「レーザー工学」の異なる分野の専門家が協力し、上述の課題に取り組みました。材料には、生体材料としても研究が多数行われているフッ化アパタイトを選択しました。

最初に、透光性セラミックスを得るために理想的な初期粉体の液相合成を行い、図2に示すような粒子径 50 nm の球状粒子を東京医科歯科大学で合成しました。次に、得られた粉体を物質・材料研究機構で焼結し、緻密透明化を行いました。高温では緻密化が容易ですが、粒径が大きくなる問題がある一方、低温では緻密化が難しくなります。今回、通電効

果によって比較的低温で緻密化が可能な放電プラズマ焼結法を用いることで、焼結挙動を高度に制御することによって平均粒径 140 nm の微細組織（図 3）で、散乱源の極めて少ないセラミックスを作製することに成功しました（図 4）。その後、北見工業大学において、結晶方位がランダムな非立方晶セラミックスでは世界で初となるレーザー発振に成功し、レーザー発振出力やスペクトルの評価を行いました。（図 5）

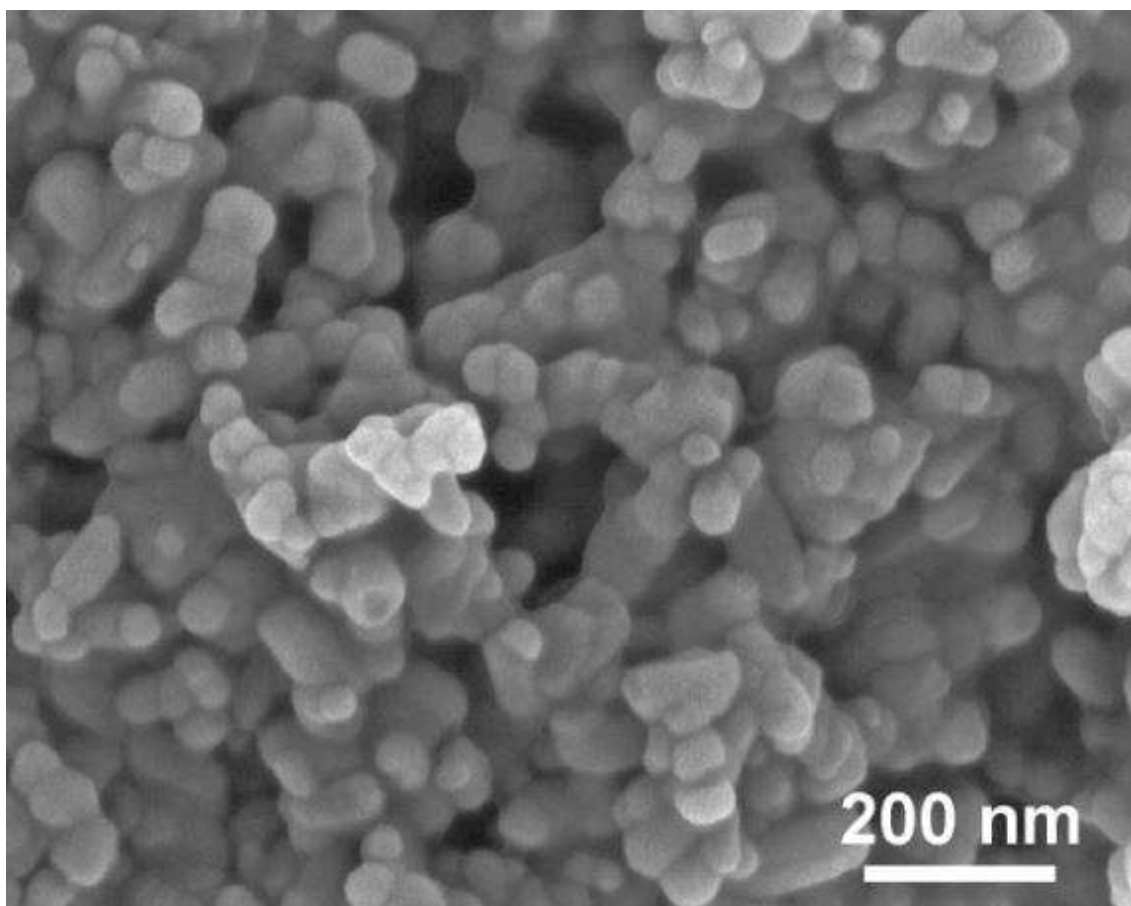


図 2 : Nd 添加フッ化アパタイト初期微粉体の微細組織写真。粒子径は約 50 nm の球状粒子であることがわかる。

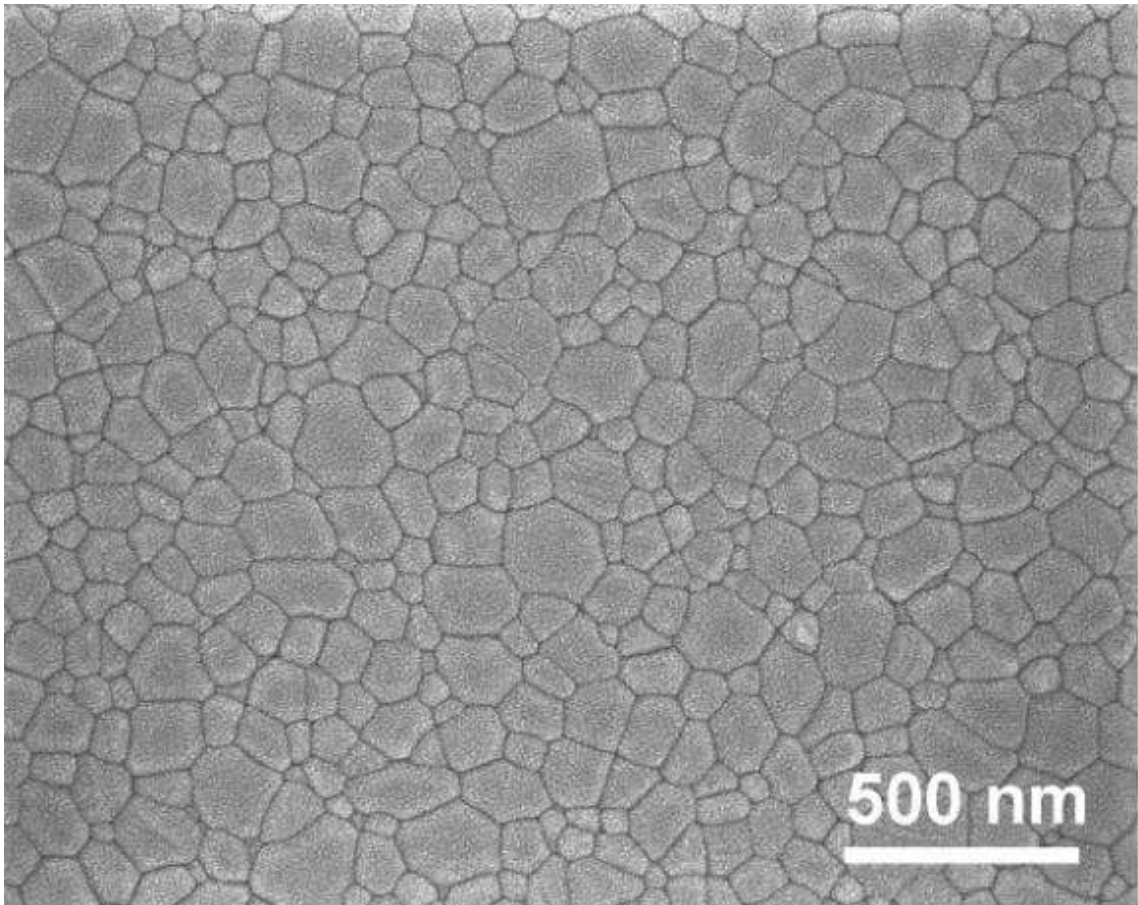


図3 : Nd 添加フッ化アパタイト焼結体の微細組織写真。残留気孔や他相の析出が無く、緻密な焼結体であり、微結晶粒組織で構成されていることがわかる。平均粒径はわずか 140 nm と見積もられている。

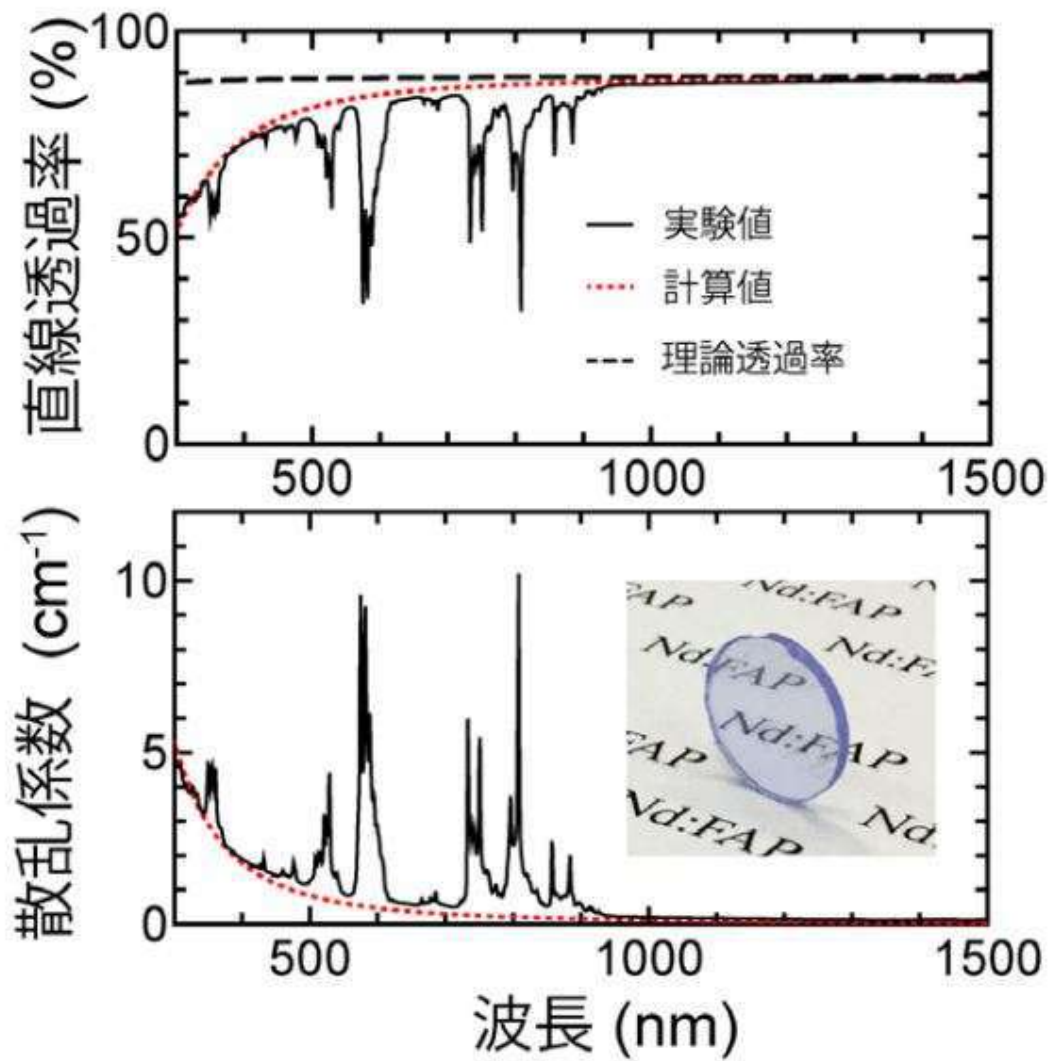


図4 : Nd 添加フッ化アパタイトの直線透過スペクトル (上) および散乱スペクトル (下) 波長 1000nm 以上の領域ではほとんど散乱が無く、高品質であることがわかる。より長波長側では散乱係数は低減すると考えられる。

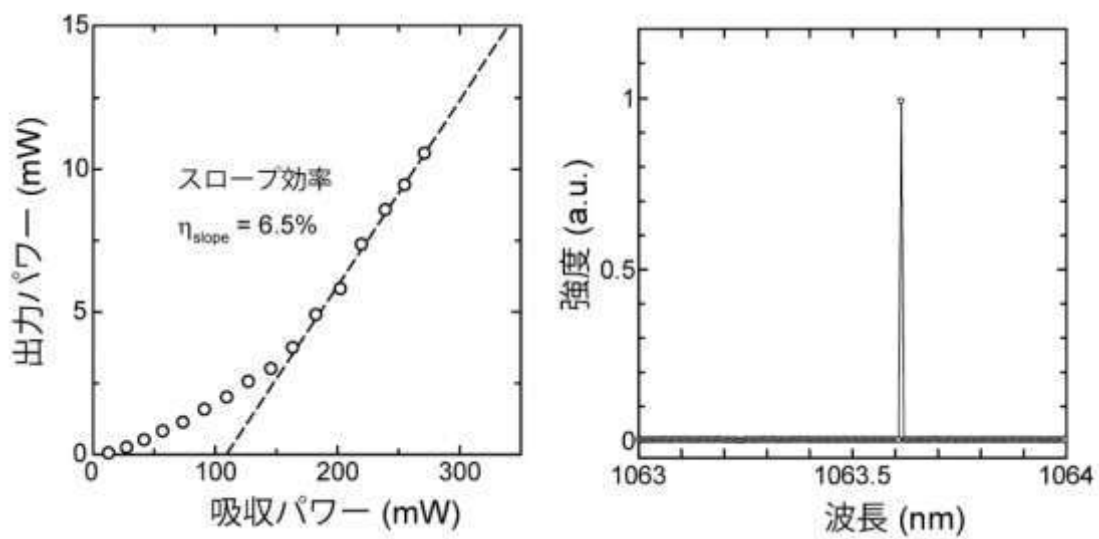


図5：(左) Nd 添加フッ化アパタイトのレーザー入出力特性。吸収パワーに対するレーザー出力効率は 6.5%程度である。(右) レーザー発振スペクトル。

日文新聞发布全文

<http://www.kitami-it.ac.jp/wp-content/uploads/2019/07/20190729pressrelease.pdf>)

文：JST 客观日本编辑部翻译整理