### プラズマフォトニクスグループ

### パワーレーザーで新物質材料創成

**尾崎典雅** 准教授(工学研究科兼任) 兒玉了祐 教授(工学研究科兼任)、中村浩隆 助教(工学研究科)

### レーザー超高圧縮で新物質状態を創る・観る技術

高出力のパルスレーザーを固体表面に集光照射すると高温・高密度プラズマが生成されアブレーションが起こり、超高圧の圧力波や衝撃波が生成され固体内部に伝播する。このような動的な圧縮により比較的容易に100万-1000万気圧を超える超高圧状態を創り出すことができる。この超高圧力状態は、惑星の中心の圧力に相当するとともに、地上に存在していなかった新たな物質材料を創り出すことができる。

レーザー超高圧で新物質材料を創るカギとなる技術の1つは、超高圧状態のダイナミックス制御技術を実現するレーザーパルス波形整形技術であり、もう1つはXFELなどによるレーザー超高圧状態のミクロダイナミックス診断技術である。これらによりレーザー超高圧下での構造変化の診断と制御による新物質創成の可能性や全く新しいレーザープロセスが期待されている。さらに今後、より高精度かつ大量のテータを可能とする高繰り返しパワーレーザー技術の進展も期待でき、情報科学との連携などによる新学術の創成と共に新たなイノベーション創出が期待できる。



### 応用1

#### 新しいダイヤモンドを創る

パワーレーザーを利用し、炭素(グラファイト)を圧縮することで様々なダイヤモンドを創ることができる。レーザーによる1次元圧縮により、比較的容易にグラファイトから六方晶ダイヤモンド(ロンズデーライト)を創ることが可能になってきている。これはダイヤモンドより1.58倍以上の硬度があると考えられている。さらに1000万気圧以上で体心立方(BC8)ダイヤモンド(スーパーダイヤモンド)の状態を実現し、手の上に取り出すことを試みている。これは系外大型惑星(スーパーアース)のコア物質と思われている。

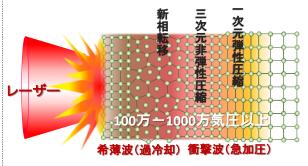


### 応用2

### 新しい金属を創る

レーザーによる動的な圧縮は、通常の静的な圧縮 と異なり、超高速でかつ1次元圧縮である。この特 性を活かして様々な金属を創り出すことができる可 能性がある。

- ・金属シリコン(10万気圧以上) レーザーの高速圧縮・冷却による高圧相凍結 による金属シリコンの取り出しの可能性
- ・混合相状態のナノ構造鉄(10-100万気圧) 異なる高圧相の混合鉄を創り出せる可能性
- ・金属カーボン(3000万気圧以上) 未発見の超軽金属カーボンの可能性



http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/ef/



### レーザー材料工学グループ

### 透明セラミック技術

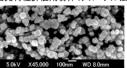
藤岡加奈 准教授

### 粉体合成からセラミックス透明化まで

レーザーの高出力・高繰り返しを目指し、希土類元素を添加したYAG( $Y_3Al_5O_{12}$ )セラミックレーザー材料の透明化と接合の技術開発を行ってきました。透光性セラミックスの製造は、母材に添加する活性元素の選定、濃度最適化の探査から共沈法、ゾルーゲル法、水熱法などの材料粉体製作、成型、焼結、ポスト焼結を一環して行う設備を有しています。この製作工程には多くのノウハウが凝集されており、レーザー材料のみならず、バルク及び粉体の白色光源、磁性光学材料、シンチレーターなどの幅広い分野で応用することが可能です。



 蛍光特性評価用粉体(ゾル−ゲル法)



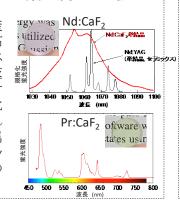
セラミックス材料粉体(共沈法)

透光性Yb:YAGセラミックス



## 応用1

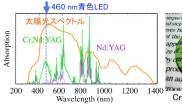
### 新レーザー材料 アルカリ土類金属フッ化物



## 応用2

## 酸化物レーザー材料 発光元素共添加技術

太陽光励起レーザー材料として、太陽光に多く含まれる可視領域の光を有効活用するようにNd:YAGにCrを共添加しました。最近、安価になった青色LD励起による緑~赤の波長域の発光材料が注目されつつあります。

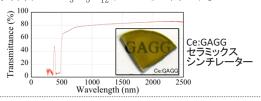




### 応用3

#### 高融点 - 分解溶融型材料

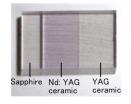
焼結温度が低いセラミックス技術は、高融点材料、あるいは分解溶融型化合物(加熱時に元の組成と異なる固相と液相に分解)の製作に力を発揮します。次世代シンチレーター材料である  $Ce:GAGG(Gd_3Al_2Ga_3O_{12})$ や $Ce:SrHfO_3$ 、磁性光学材料 $Ce:Tb_3Al_5O_{12}$ などがその例です。

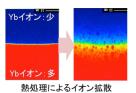


## 応用4

### セラミックス接合

高速アルゴン原子ビームを用いて表面を活性化し、セラミックス同士、あるいは異種材料(単結晶、金属など)と常温で接合します。レーザー材料の冷却促進以外に、接合後の加熱によってイオン濃度の傾斜制御も可能です。





http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/lmo/





### レーザー材料工学グループ

### 溶液成長結晶の育成技術

藤岡加奈 准教授

#### 母液中のクラスター分子分解による高速成長

大型ガラスレーザー装置激光XII号の波長変換素子として非線形光学結晶KDP (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)の大型結晶育成技術を開発し、当時、世界最大の40cm級結晶の育成に成功しました。大型で高品質の結晶を育成するため、育成母液の撹拌方法や、母液に紫外線を照射することにより結晶の耐レーザー損傷性を向上させるノウハウも蓄積しています。また、母液中の溶質クラスター(溶質分子の集合体)を熱や音波エネルギーで破壊することで育成母液の高過飽和度を達成する技術も開発し、従来の育成方法に比べ10倍以上の速度(最高53 mm/日)での育成に成功しました。これらの技術は溶液成長の結晶育成に広く応用できる可能性があり、光学分野のみならず食品分野でも適用が試みられています。





### 応用1

#### 各種水溶性結晶の高速育成

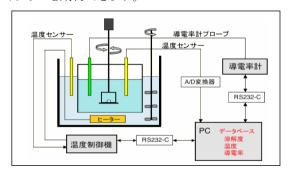
高速育成技術を用いて、広帯域焦電型赤外線センサーなどに使われるLATGS (L-アラニン添加硫酸グリシン)やdLATGS (重水素化LATGS)、X線分光結晶であるKAP (フタル酸カリウム)やPET (ペンタエリスリトール)を従来より数十倍の速度で育成可能にしました。生産性のみならず、種子結晶の選択によって歩留まりの向上にも寄与することができることを提案しました。これらの技術、知見は広く溶液成長結晶の育成に適用が可能です。



### 応用2

### 結晶育成の自動化

高品質の結晶を安定して育成するには、結晶の成長速度を一定に保つことが重要です。そのためには、育成中の母液の過飽和度を精密に調整する必要があります。過飽和度は母液の温度、伝導率、溶解度に依存するため、これらの関係のデータベースを構築し、伝導率の測定値を基に過飽和度が一定になるように温度制御します。この育成制御の全てをコンピューターにより自動で行ないます。最新のAI技術を応用すれば、さらなる省力化とコストダウンも期待できます。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/lmo/





### レーザー材料工学グループ

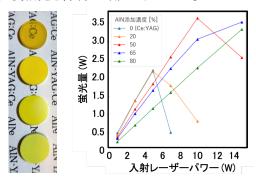
### コンポジットセラミック蛍光体

藤岡加奈 准教授

#### 温度消光を抑制するための 非酸化物/酸化物コンポジットセラミックス 白色光源用蛍光体

遠方でも必要なところだけを照らすことのできる青色半導体レーザーと蛍光体を用いた照明の開発を行っています。 よく光り、温度変化に影響されない長寿命の蛍光体、クールからウォームまで様々な白色を実現する蛍光体の研究 を行っています。

酸化物であるCe:YAGと非酸化物で高熱伝導のAINをコンポジット化する技術を開発し、高パワー励起による蛍光体の温度消光を抑制が可能になりました。

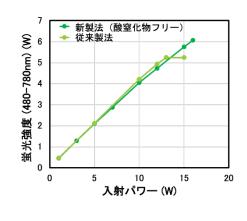




## 応用1

### 高熱伝導 セラミックス蛍光体

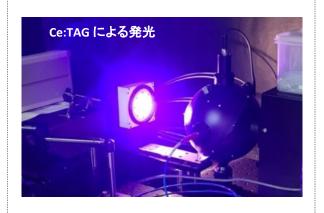
酸化物と非酸化物のコンポジットセラミックスでは、酸窒化物の副生成物が出現し易く、高熱伝導化の効果低減の原因となります。それを回避するため、Ce:YAG蛍光体に工夫を加えたコンポジットセラミックス新製法によって、さらなる性能向上が確認されています。





### 暖色白色光源用 セラミックス蛍光体

レーザー照明をさまざまのシーンに適用するため、 色温度の異なる発光を示す蛍光体の研究を行っ ています。特に、暖色系白色用の蛍光体は温度消 光が顕著で高熱伝導材料とのコンポジット化が有 効です。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/lmo/





### テラヘルツフォトニクスグループ

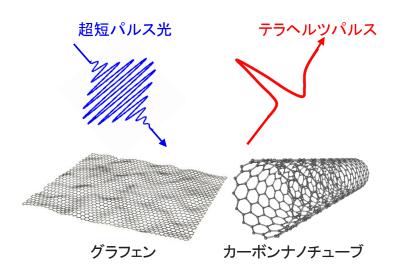
### ナノ材料を用いたTHz機能創成

**斗内政吉** 教授 共同者:河野淳一郎 教授(米国ライス大学)

### 低次元ナノ材料の物理と応用

フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェンといった、炭素系のナノ材料の発見により、理想的な低次元電子系材料を用いた研究開発が可能となった。これらの低次元ナノ材料は、基礎物理的に興味深いだけでなく、低損失・高速動作可能な次世代電子デバイス、超高感度センサー、高効率エネルギー変換デバイスなど、様々な応用にも期待が持たれている。

我々は、このような低次元ナノ材料の電子・光物性を明らかにするとともに、光・ テラヘルツ機能を開拓し、次世代デバイス 応用に向けた基盤的研究を推進している。





### グラフェンやカーボンナノチューブ を用いたテラヘルツ波発生

低次元ナノ材料は、通常の固体と異なる特異な電子構造を持ち、また表面積が非常に大きいため外部環境に非常に敏感であるといった特徴がある。そのため、次世代の高速光デバイスや高効率太陽電池、超高感度センサーなどの応用が期待されている。

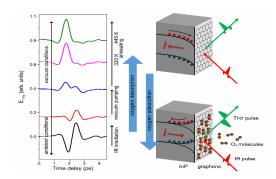


図 グラフェンへの分子吸着によるグラフェン/InP接合から放射されるテラヘルツパルス波形の変化

Nano Lett. 20, 3098(2020), Nano Lett. (2023) in press.

# 応用2

### 新規テラヘルツ分光手法の開発

低次元ナノ材料のテラヘルツ分光計測を精度良く行うためには、高感度な計測手法の開発が必須である。 我々は、平行平板導波路を利用して超薄膜の面方向 にテラヘルツ波を伝搬させることにより相互作用長を 飛躍的に増大させ、グラフェンなどの超薄膜の計測に 有用な分光手法を開発した。

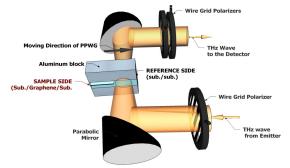


図 平行平板導波路型テラヘルツ分光システムの模式図

APEX 9, 032002 (2016), Optics Express 24, 3885 (2016) Optics Letters 42, 3056 (2017)

http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/thp/





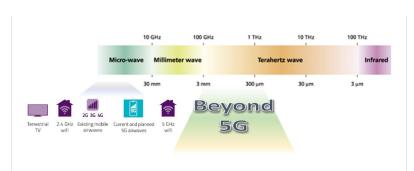
### 超広帯域フォトニクスグループ

### Beyond 5G/6G 材料のデザインや評価

中嶋 誠 准教授 共同者: V. Agulto特任研究員、加藤康作特任研究員

#### Beyond 5G (6G)

'Beyond 5G'もしくは'6G'と呼ばれる次世代の通信帯域は、 $100~\mathrm{GHz}\sim 1~\mathrm{THz}$ の周波数に相当し、テラヘルツ帯に位置します。これらの電磁波は、携帯電話等に使われるだけでなく、 $\mathrm{IoT}$  (Internet of Things)やDX (Digital Transformation)の主要な要素となります。高周波の電磁波は、広い帯域を持ち、高速な通信環境を提供し、ビッグデータ記録にも寄与します。 $\mathrm{6G}$  帯で利用される材料開発は現在もっとも注目を集めています。メタマテリアルをはじめとする新規材料の開発をはじめ、 $\mathrm{6G}$ 帯での光学応答や伝導特性の評価から、新材料開発の支援を実施します。







#### Beyond 5G帯における特性評価

Beyond 5G領域(100~GHz-1~THz)のみならず、5Gの領域(50~100~GHzなど)における物性特性評価が可能です。透過測定のみならず、反射測定も実施可能であり、状況に合わせてた配置での測定が行えます。

吸収材や磁気材料だけでなく、基板材料や新材料のBeyond 5G帯での評価を実施します。下記の特性を得ることより、デバイス設計の指針となるパラメータの取得が可能です。

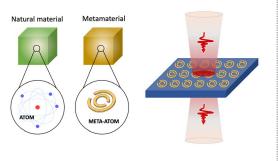
多様な特性の評価が可能 透過率 反射率 屈折率

誘電率·誘電正接 電気伝導度



#### Beyond 5G応用に向けた新材料

Beyond5Gデバイスに応用可能な新材料の開発を行っています。メタマテリアルは、波長よりも小さい構造体からなる新規の人工物質です。その機能や周波数特性は、その構造のサイズや形状からデザインすることが可能です。6G通信帯における新材料開発に応用することも可能です。我々は、理論計算よりその応答特性を予想することができ、また、実験的にそれらの特性を確認・評価することも可能です。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/up/





### 超広帯域フォトニクスグループ

### 新しい結晶成長技術

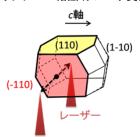
#### 吉村政志 教授

共同者: 森勇介教授(工学研究科)、吉川洋史教授(工学研究科)、丸山美帆子教授(工学研究科)

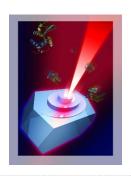
#### レーザーアブレーションを用いた結晶成長

タンパク質の分子構造解析のためには、良質な大型 単結晶が必要とされますが、適切な過飽和溶液環境 下においても結晶の成長が停止するという課題があり ました。結合が弱く、転位が少ないタンパク質結晶では 2次元核成長モードが支配的となる点に着目し、レー ザーアブレーションによって制御することを試みました。

#### リゾチーム結晶(タンパク質)



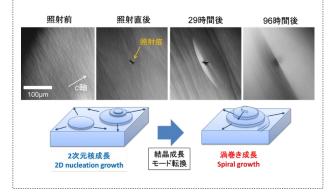
応用1



### 結晶成長モードの能動制御

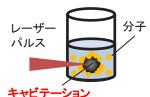
フェムト秒レーザーを用いて、溶液中で成長が緩やかになったリゾチーム結晶表面にレーザーアブレーション痕を形成すると、そこから渦巻き成長が誘起されて面全体がスパイラルステップで覆われました。これによって成長モードが理想的な渦巻き成長に切り替わり、成長が促進されて結晶が大型化するという新しい現象を発見しました。

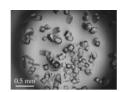
Nature Photonics, Vol. 10, pp. 723-726 (2016.10).



#### レーザー誘起核発生

溶液結晶成長法の1つとして、フェムト秒レーザーを 過飽和溶液に照射し、キャビテーションバブルを介し て核発生を誘起する技術開発を進めてきました。これ までは巨大分子であるタンパク質結晶の結晶化に取り 組んできましたが、最近は薬剤候補化合物の有機低 分子の多形制御への応用研究に取り組んでいます。





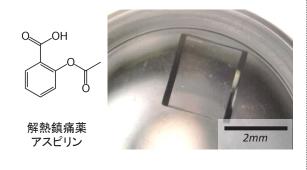
リゾチーム結晶(タンパク質)

## 応用2

#### 有機低分子の準安定形開発

種々の薬剤は、主成分の有機低分子を結晶化したものを顆粒・錠剤化しています。一般に再安定形の結晶構造が採用されていますが、開発段階では 準安定形の結晶形探索が求められます。

解熱鎮痛薬として知られるアスピリンの低過飽和溶液にフェムト秒レーザーを照射すると、通常結晶が晶出しない条件において、写真に示すような準安定形の大型単結晶作製に世界で初めて成功しました。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/up/





### パワーフォトニクスグループ

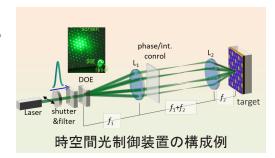
### レーザーの時空間光制御とプロセシング応用

#### 中田芳樹 准教授

#### 時空間光制御技術の開発

レーザー技術の応用は基礎科学から産業まで非常に多岐に渡る。 そのポテンシャルを最大限発揮するために必須である「光の強度と 位相を3次元空間で精密に制御する技術」を開発している。

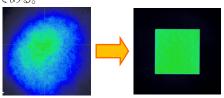
本技術は、時空間光制御装置一般に応用することが出来る。さらに、「レーザープロセシング(加工)」を自在に制御する事で、プラズモニクスやナノテクノロジー、さらにはバイオや医療への応用も可能である。



## 応用1

## マクロな時空間光制御: 高精度ビーム整形と波面制御

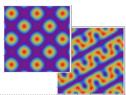
空間光制御素子(SLM)を用いた位相グレーティング形成とフーリエ光学系を利用する事で、他の手法より格段に精密なビーム整形と波面制御が可能である(下図: Copyright (2019) Nature.)。様々なレーザーのポテンシャルを最大限発揮するための技術である。





## ミクロな空間光制御:干渉パターン加工による表面ナノ修飾

干渉するビーム間の位相・強度・偏光を制御する事で、干渉パターンを自在にデザイン出来る(図左: Copyright (2012) OSA.)。プラズモニックデバイスなどで用いられる金ナノドロップ配列構造(図右: Copyright (2010) OSA.)など、様々な金属ナノ周期構造を一度に大量に作り出すことが出来る。





## 応用2

### 均一・均質な面積加工

①の技術は均一性や制御性が重視される全ての 面積照射に応用出来る。ステップスキャニングを併 用した多ショット大面積加工、さらには皮膚病や美 容医療など様々な応用が可能である。

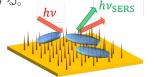


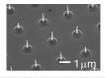




### 金属ナノ周期構造の形成と プラズモニクス応用

表面増強ラマン散乱(SERS)は分子の超高感度検知が可能であり、金属ナノ構造で誘起される光増強場を利用する事で、単一分子の検知が可能となる。多情報の高感度かつ迅速な取得が可能なデバイス(図左)の作製を目指し、均一配列ナノウィスカー構造(右図: Copyright (2012) Elsevier.)を作製する。





http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research01/plp/

-17 -



### パワーレーザーシステム工学グループ、パワーフォトニクスグループ

### レーザー加工技術の宇宙応用

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所) 共同者:兒玉了祐 教授

#### レーザーを用いた月面基地建設材料の製造

月面探査や火星移住など惑星での人類活動に際して、輸送機の離発着場や運搬路等を含む基地建設が必要となる。地球からの物資の運搬は高いコストや輸送能力の限界があるため、大量の建設材料を現地で入手して製造することが求められる。その解決策として、惑星の表土をレーザーで焼成・溶融させて積層する方法に着目した研究を進めている。レーザーを用いた手法では現在実用化されている3Dプリンターの技術が適用可能であり、将来的には宇宙での利用が期待される太陽光励起レーザーの活用が考えられる。

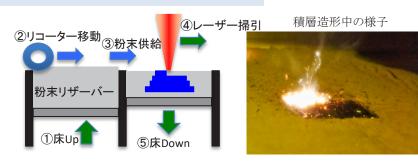


## 応用1

#### レーザー積層造形による建材作製

2種類(PBF法とDED法)の市販3Dプリンターに"月の模擬砂(FJS-1)"を装填しレーザー積層造形の実験を行い、建設材料や各種部材としての性能を評価している。PBF法の場合、サブミリのガラスビーズが凝集して層を形成するため、形状精度は高いが圧縮強度は数N/mm²程度となった。一方で、DED法の場合は砂(主成分はシリカ)が連続供給され溶融しガラス化することで層を形成するため、圧縮強度としてコンクリート並みの100 N/mm²以上が得られた。

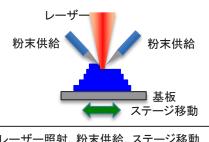
#### 粉末床溶融結合法(PBF法: Powder Bed Fusion)



PBF法による造形物



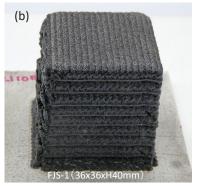
指向性エネルギー堆積法(DED法: Directed Energy Deposition)



レーザー照射、粉末供給、ステージ移動を同時に行う。

積層造形中の様子

DED法による造形物







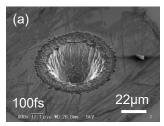
### パワーレーザーシステム工学グループ、パワーフォトニクスグループ

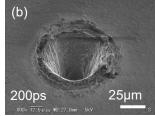
### フェムト秒レーザー加工技術

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所) 共同者:染川智弘招へい教授(レーザー技術総合研究所)、宮永憲明名誉教授(大阪大学)

### 超短パルスレーザーを用いた微細加工

100フェムト秒という短い時間にエネルギーを集中できるフェムト秒レーザーパルスは、熱変成を伴わない微細加工のツールとして注目されている。フェムト秒レーザーパルスはエネルギーが小さくてもピーク強度が高いために、照射フルーエンスに応じて様々な加工現象が発現することが分かってきた。





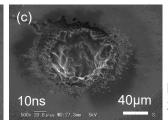
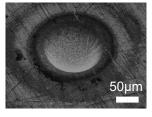


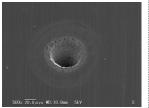
図. パルス幅による加工痕の比較

## 応用1

#### 熱影響が無視できる微細加工

フェムト秒パルスは試料表面でプラズマが発生する前にレーザー照射が終わるために、固体表面でのみエネルギーが吸収され、熱影響が無視できる加工が可能となる。



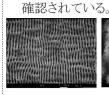


## 応用2

### 応用2 材料表面への微細周期構造形成

加工しきい値近傍の低フルーエンスでフェムト秒 レーザーパルスを物質表面に照射すると、周期が 波長程度の微細な溝構造が自発的に形成される。 このような微細構造を摺動面にほどこすと、摩擦係

数が低下することが実験的に







## 応用3

#### 半導体の表面改質

加工しきい値以下のフルーエンスで単結晶Siの表面を照射すると、アモルファス層が形成される。

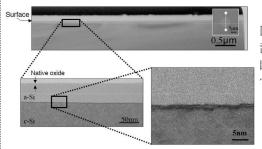


図. 照射 試料の 断面 TEM像

### 応用4 CFRPの微細加工

レーザー加工による熱影響を受けやすい炭素繊維 強化複合材(CFRP)に対しても、フェムト秒パルス を用いれば100 μm以下の微細加工を施すことがで きる

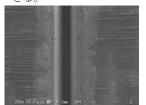




図. CFRPへの溝掘り加工とスリット加工(幅300µm)

http://www.ilt.or.jp/

### パワーレーザーシステム工学グループ、パワーフォトニクスグループ

### レーザー加工技術

藤田雅之 招へい教授(レーザー技術総合研究所) 共同者:染川智弘招へい教授(レーザー技術総合研究所)、宮永憲明名誉教授(大阪大学)

#### レーザーと物質の相互作用を加工に応用

近年、レーザーのパルス幅は連続光からフェムト秒パルス光まで 広い範囲から選べるようになっている。連続光を用いることで各種 材料の接合が可能となり、パルス光を用いると様々な材料の微細 加工が可能となる。レーザーとプラズマの相互作用の基礎知識と レーザー開発の実績をもとに、将来的なレーザー開発の動向を 考慮して研究テーマを展開している。様々な複合材、合金、セラ ミックス、ガラス、木材、石材、コンクリートなど製造現場で用いら れている素材を対象として、産業界のニーズに対応した共同研究 開発も手掛けている。



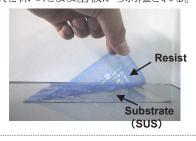


図. パルス幅200psのレーザーでCFRPを加工

## 応用1

#### レジスト剥離

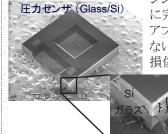
適度な強度のパルスレーザー光を照射すると、金属 基板からレジスト膜が剥離する現象が見出された。 レジスト膜はレーザー照射により蒸散するのではなく、 その形状を保ったまま基板から剥離される。



## 応用2

### MEMSウェハのダイシング

MEMSウェハの代表的な構造であるガラス/Si接合体を微小チップにダイシングする技術を開発した。ダイ

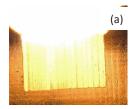


シングラインは内部クラック に完全に沿っており、表面 アブレーションを行ってい ないため、デブリフリーで 損傷なく割断できている。



### レーザークリーニング

連続光を高速スキャナと組み合わせることで、熱影響を抑制した 材料表面の除去加工が可能となる。金属のさび取り・塗膜除去や 木材の表面塗装の除去にも適用可能である。



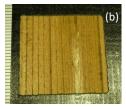


図. 木材塗装のクリーニング:(a)照射中の様子、(b)照射後

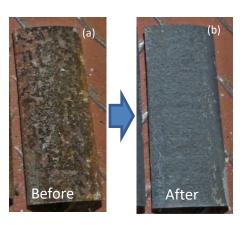


図. 錆びた鋼材のクリーニング:(a)照射前、(b)照射後





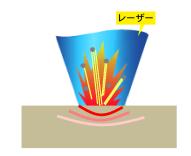
### 超高圧科学グループ

### 高密度プラズマによるレーザートリートメント

### 重森啓介 教授

### ハイパワーレーザーによって発生する高密度プラズマ

ハイパワーレーザーを物質に照射することにより、他の手法では得ることのできない高温・高密度、そして高圧力のプラズマ状態を創り出すことができます。この高密度プラズマは学術的に興味深いだけでなく、様々な分野への応用が期待されています。この高密度プラズマによって物質表面が高温に加熱されるため、物質表面を剥離することができることから、錆や塗装などを除去する「レーザークリーニング」が可能です。また、高密度プラズマによって物質が高圧力に加圧されるため、物質中に大きな残留応力を与えることができることから、材料を強くする「レーザーピーニング」が可能です。これらの技術を用いることにより、材料に対して高い付加価値を与えることができます。

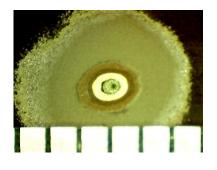




### 応用1

### 大面積レーザークリーニング

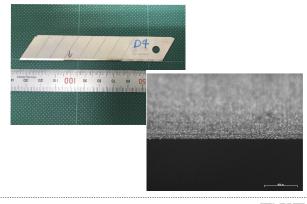
ハイパワーレーザー照射によって物質表面を剥離する「レーザークリーニング」技術はその応用領域が広がりつつあります。しかしながら、その剥離プロセスは明らかになっておらず、剥離対象の物質やレーザーの照射パラメータに大きく依存します。我々は大出力レーザーの持つ強みを利用し、より大面積の一括クリーニングや学理に基づく照射パラメータの最適化の研究をすすめるとともに、これを一般化するためのクリーニングプロセスの高精度計測、およびそのデータベース構築行っています。



# 応用2

### レーザーピーニングによる 材料の強靭化

ハイパワーレーザー照射によって材料内部に衝撃 波が伝播し、強い応力(圧縮力)を与えることができ ます。この残留応力によって材料を強靭化すること ができるため、「レーザーピーニング」として実用化 がすすめられています。我々はこの技術を金属の 耐摩耗性を向上させる応用の可能性の一つとして、 刃物の刃先にピーニング処理を行うことにより、切 れ味の長期間維持を実証しました。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/hps/





### レーザー核融合システムグループ

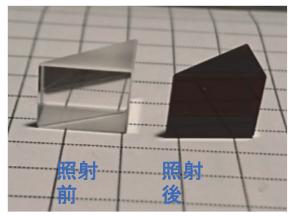
### 壊れない材料を目指して、放射線損傷の評価技術

山ノ井航平 准教授 共同者:猿倉信彦教授、清水俊彦准教授

#### 放射線、紫外線に強い材料開発を

近年、宇宙開発、核融合、核医学などの研究が進んでおり、また、 日本では原子炉の廃炉が行われ、それによって高放射線環境で 使用できる材料の開発が求められています。本グループでは様々 な計測技術を用いて、光学材料を中心に、材料への放射線の影響 を研究しています。

右図は光学ガラスへの放射線(ガンマ線)照射前後の例です。光学ガラスで作られた光学素子、特にカメラレンズは様々な分野で幅広く使用されています。一般の光学ガラスは、強い放射線にさらされると劣化し、着色して透過率が変化したり、屈折率が変化したりします。この影響を明らかにすることで、機能限界を知り、材料の改良を行うことができます。中には、放射線照射後に損傷が回復するような材料も見つかっています。廃材の少ない再利用可能な材料、原発廃炉のモニターレンズの設計などに役立ちます。

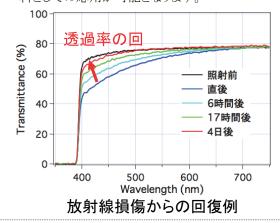


ガラスへの放射線の影響

### 応用1

#### 放射線環境下での材料評価

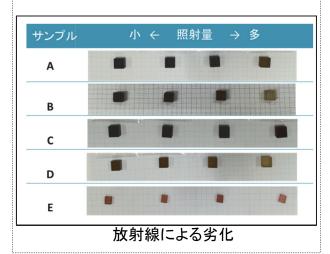
ガラスや結晶などの透明材料は放射線を受けると、透明度が低下することがほとんどですが、中には透明度の低下を抑えることができたり、低下後に容易に回復する材料があります。放射線の材料への影響を明らかにすることで、放射線計測や窓材料としての応用が可能となります。



## 応用2

### 紫外線劣化の加速試験

紫外線による材料の退色や劣化は、放射線による劣化と似ています。よりエネルギーの高い放射線を用いることで、紫外線劣化の加速試験を行うことも可能です。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lfs/





### レーザー核融合システムグループ

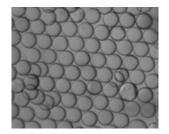
### マイクロサイズカプセル作成技術

山ノ井航平 准教授 共同者:實野孝久特任教授、乗松孝好名誉教授(大阪大学)

### 微小かつ高精度の球を作る!

水とオイルが混ざらないことを利用し、99.9%以 上の真球度を持つ直径100-2000 μ mのサイズ のマイクロカプセル、ビーズ(中実球)を作ること ができ、膜厚や大きさのコントロール、多層化、 大量生産が可能です。ポリスチレンをはじめとし て、エポキシ樹脂、低密度フォーム材料などでも 作成でき、内容物も自由に選択できます。さらに 外面にコーティングも可能です。

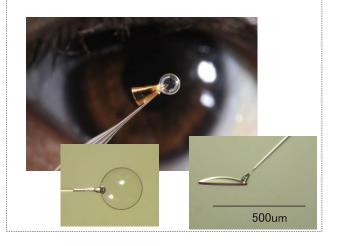






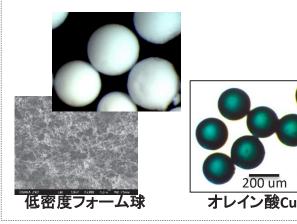
### 応用1 レーザープラズマ実験

均一な球形を用いて、レーザー核融合の実験を はじめとして、レーザープラズマの実験への応用が 可能です。カプセルを切り出し、加工・組み立てな どを行うことで、様々な実験への応用に対応できま す。



### 応用2 マイクロカプセルへの薬品閉じ込め

低密度材料や金属添加・分散材料を用いて微小 均一球を作成することができるため、大きい表面積 を活かした触媒、散乱体への応用が考えられます。 また、内容物を変えられるため、薬品などの機能性 内容物の閉じ込めも可能です。



http://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research03/lfs/



200 um



### 超高強度場科学グループ

### 高強度パルス極端紫外(EUV)光照射による 物質アブレーション応用

### 田中のぞみ 特任助教

共同者:藤岡慎介教授、西原功修名誉教授(大阪大学)、安田清和講師(工学研究科)

### EUV光と物質、プラズマの相互作用の特徴を理解し材料加工に応用

- ✓ 高い光子エネルギー (~100 eV)
  - → ワイドバンドギャップ(WBG)材料や絶縁材のバンドエネルギーを 上回る。内殻電子の光電離。
- ✓ 極浅表面で吸収される。(固体吸収長数10-数100 nm)
  - → 吸収係数が大きい。 極表面界面への集中的なエネルギー付与。 透明材料が無い。
- ✓ 臨界密度が固体密度を上回る。(10<sup>24</sup> cm<sup>-3</sup>)
  → アブレーションの際プラズマにカットされない。
- ✓ 短波長 (1-100 nm)→ 微細加工に有利。

mJ領域の高エネルギー、高強度パルス EUV光を提供可能なコンパクト光源を所有



Fig. 3 EUVリソグラフィ技術



Fig. 1 物質アブレーションの差異

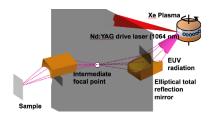
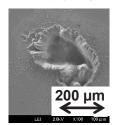


Fig. 2 レーザー科学研究所のEUV光源。 10-20 mJの高エネルギーEUV光が得られる。



### 物質のEUVアブレーション応用 と、アブレーションプラズマ物理

EUV光の光子エネルギーはワイドバンドギャップ材料のバンドエネルギーをはるかに超え、透明材料も透明では無くなる。レーザープラズマ光源の高出力EUV光を集光することでWBG材料を含む材料の、一光子イオン化とそれに続くアブレーションが可能であり、本グループでは世界でも数少ない高出力EUV光源とEUV光学素子を用いてEUV光によるナノマシニングやアブレーションプラズマ利用などの応用研究を行なっている。更に従来光が困難とする加工材料や、加工技術への応用を目指している。



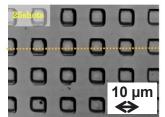


Fig. 4 Siウェハー上の EUVアブレーション痕

Fig. 5 ポリマー材へのマスクを介した EUVアブレーションによる直接加工例

(N. Tanaka et .al, Appl, Phys, Lett., 105, 114101 (2015) 他)



### 高フルエンスEUV光による表面 改質と異種材料間界面形成

高出力LPP光源からのEUV光を高フルエンスで用いることで、アブレーションを伴わない透明材料を含む極浅表面の処理が可能となる。例えば、基材の表面に塗布した異種材料との界面創出、バルク領域の変性を伴わない200 nm程度までの深さ方向への局所的な改質の基礎実験を行なっており、透明材料表面へのパターン形成、膜処理、接合などの可能性を示してきている。



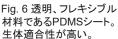




Fig. 7 金属ナノ粒子担持ポリマー表面へのEUV光照射。変色が見られ、更に界面制御が示唆された。

(K. Yasuda et al,. IEEE Explore, ICEP-IAAC, 535 (2018) 他)

https://www.ile.osaka-u.ac.jp/ja/groups/research02/lf/



