



可知化センシングユニットにおける ムーンショット10等に関する研究活動

NIFSユニット成果報告会 R8.6.15

S&I ユニット・准教授 上原 日和

はじめに

- S&Iユニットでは、上原日和(准教授)、宮嶋孝夫(特任教授)の2名が課題推進者(PI)としてMS10森プロジェクトに参画しており、**ユニットにとって重要な研究活動**といえる。
- ゼロから立ち上がったプロジェクトであり、研究成果はまだ無いため、**構想の紹介**が中心となる。
- レーザー光源開発のプロジェクトであり、レーザー核融合だけでなく**プラズマ計測の発展、S&Iの推進**にも貢献しうる研究活動である。

ムーンショット目標10



目標10

2050年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放された活力ある社会を実現

プログラムディレクター（PD） **吉田 善章**

東京大学大学院 数理科学研究科 特任教授

バラエティーに富んだ10件の研究開発プロジェクトが進行中

レーザー核融合に関する「**森プロジェクト**」がR7年に採択され、今年度より本格始動！

「青紫色半導体レーザーによる 慣性核融合モジュールの構築」

ムーンショットを機に多分野が連携し、各々の専門性を活かしつつ、
ゼロからスタートする研究プロジェクトであることが特徴



プロジェクトマネージャー
森 芳孝
Yoshitaka Mori

株式会社EX-Fusion 取締役ファウンダー
光産業創成大学院大学 准教授



プロジェクトHP: <https://ms10-sparkle.jp/>
(HP構築・運用 株式会社ブランドコンセプト)

共同研究者

レーザー核融合の専門家
fusion2030とりまとめの実績

森 芳孝

 EX-Fusion

半導体レーザーの専門家
青色LDの超短パルス化の実績

宮嶋 孝夫

 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
核融合科学研究所
Institute for Fusion Science

上原 日和

固体レーザーの専門家
中赤外・可視直接発振レーザーの実績

竹内 哲也

 名城大学

窒化物半導体デバイスの専門家
青色面発光レーザーで数多くの実績

岩見 健太郎

 国立大学法人
東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology

メタサーフェス研究の第一人者
数多くの革新的なメタレンズを実証

謝辞

本研究は、JSTムーンショット型研究開発事業JPMJMS25AAの支援を受けたものです



打ち合わせ後の懇親会 @名古屋

プロジェクト紹介ムービー



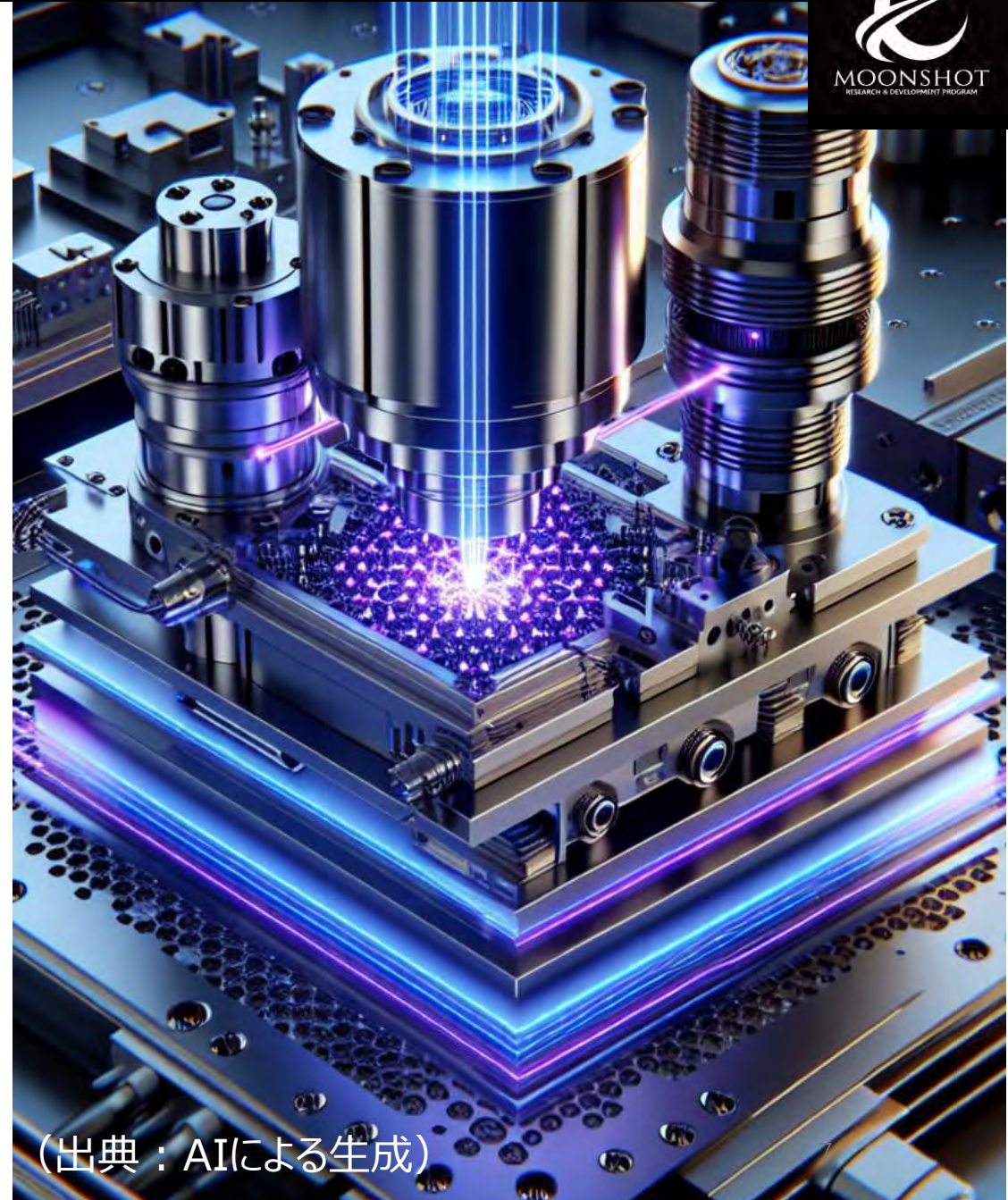
人類はどこまで遠くへ行けるのでしょうか？

Youtubeで「ムーンショット 森プロジェクト」と検索してご覧ください
https://www.youtube.com/@ms10_mori

(動画制作: 道満亜弥氏)

プロジェクトの コンセプト

日本が強みを持つ
青紫色半導体レーザー技術を
フュージョン分野に応用し
慣性核融合の実現に向けて
高効率レーザードライバの確立を目指します



レーザードライバー 役割で繋ぐ社会実装

効率 (電気 → 光)

10%

50%

ランプ励起



NIF
提供 米国ローレンスリバモア研



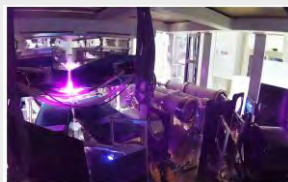
激光GXII号
提供 ILE, 大阪大学

科学実証

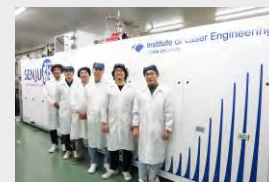
優先：エネルギー

先送り：効率、繰り返し

半導体レーザー(LD)励起



HALIANS
提供 浜松ホトニクス社



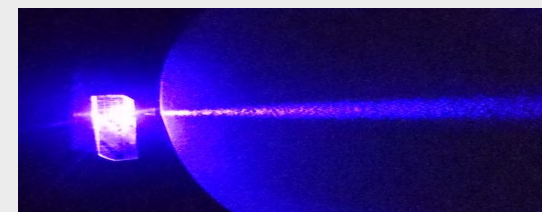
SENJYU
提供 ILE, 大阪大学

工学実証～社会実装

特徴：効率

課題：熱(繰り返し、エネルギー)

ダイレクト青紫半導体



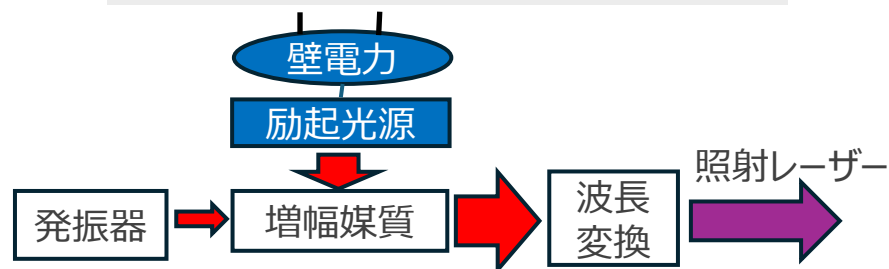
高効率GaN面発光レーザー(VCSEL) 名城大学

社会実装の拡張

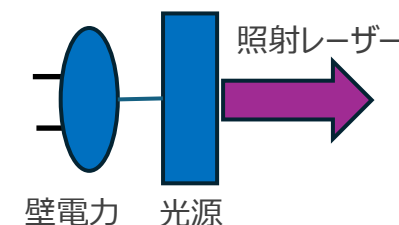
特徴：効率&繰り返し

挑戦：エネルギー(積層化)、熱

従来の構成
電気 → 励起光 → 赤外 → 紫



MS10の挑戦
電気 → 青紫

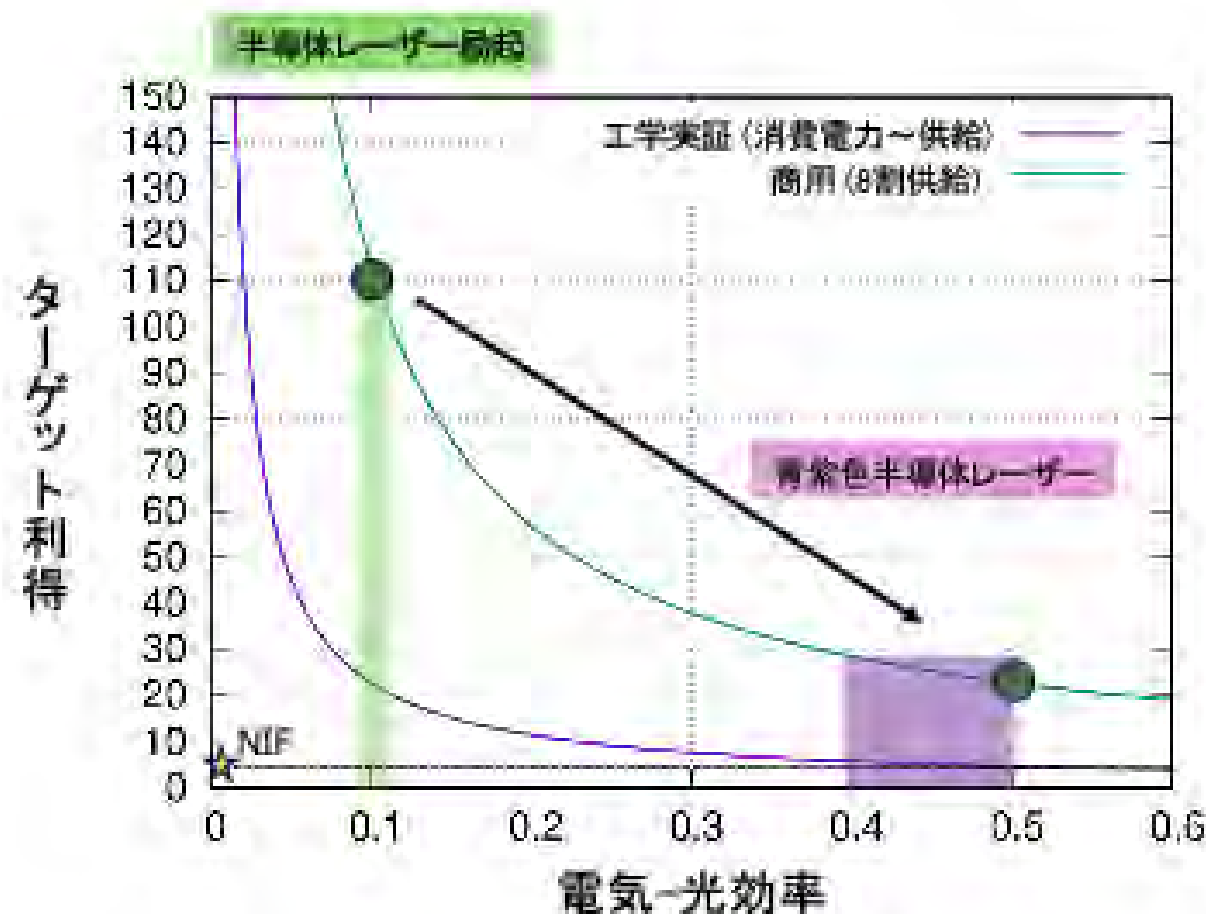


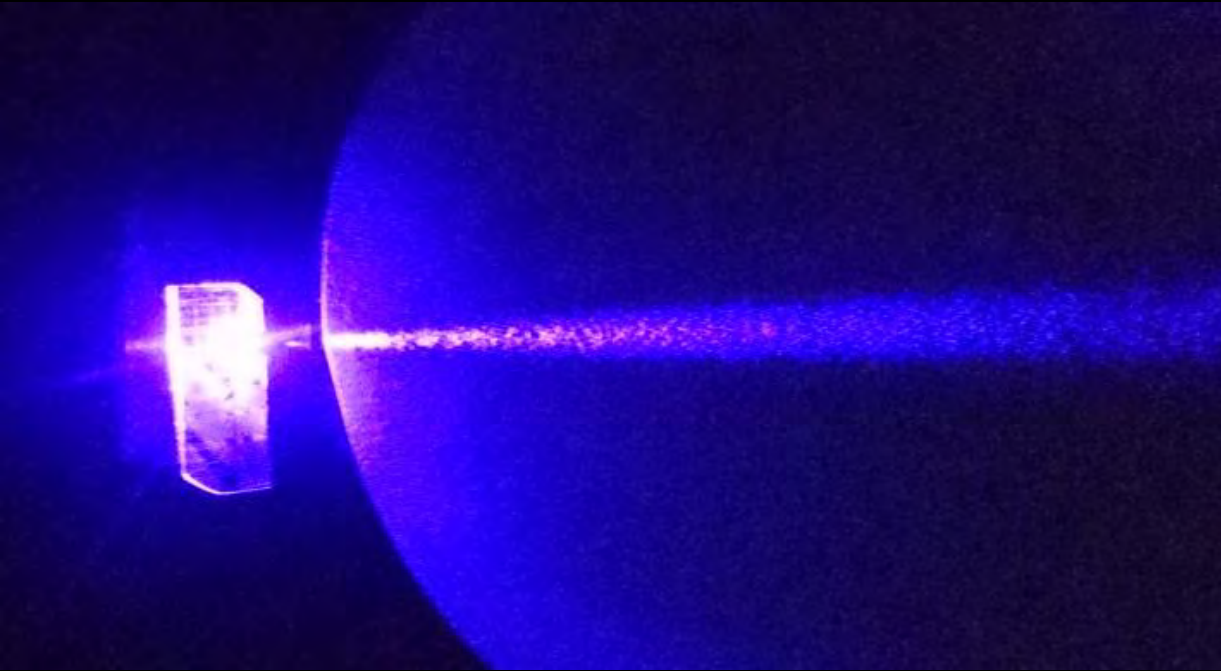
青紫色レーザーが もたらすエネルギー革新

効率のよい半導体レーザー(素子効率50%)を使うことで
ムダな電力を大きく減少

発電所に必要なエネルギー利得を**100倍から約20倍に低下**

供給電力が消費電力を超える工学実証の見通しが
NIFの実績利得4.4倍で可能





高効率GaN面発光レーザー(VCSEL) 名城大学

レーザーの短パルス化と 高出力化が必要

青紫色半導体レーザーは、素子レベルで連続発振時に50%以上の高効率ができますが、高出力のナノ秒パルスを1秒間に10回程度という高い頻度で安定して発振させることは、未だ達成されていない挑戦です

その実現のため、VCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting Laser：垂直共振器面発光レーザー）構造を採用し、安定して動作する10J級・1ナノ秒・10Hzの青紫色半導体レーザーを開発します

研究開発体制



【積層型青紫色半導体レーザー】

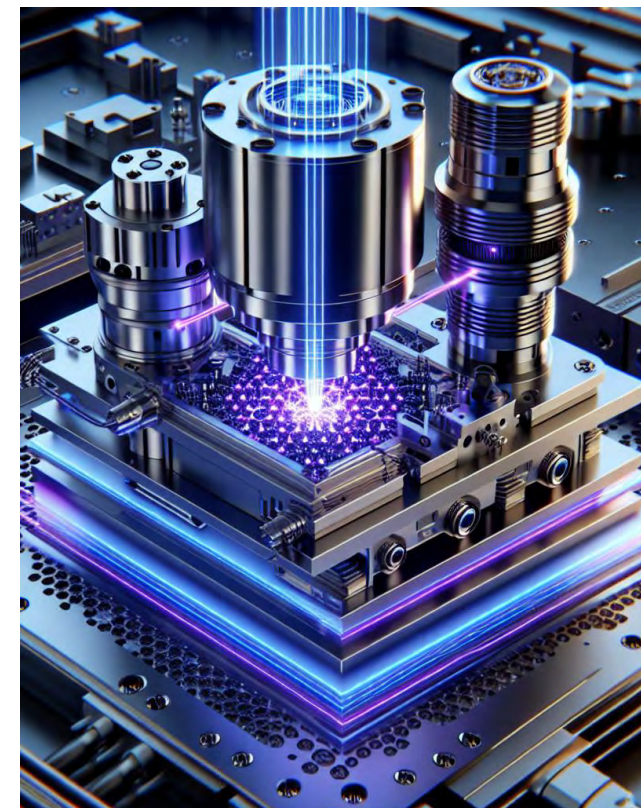
課題 1 : 短パルス化・高電流密度化 (宮嶋孝夫)

課題 2 : 縦積層化 (竹内哲也)

課題 3 : アレイ化・排熱設計 (竹内哲也)

課題 4 : 波面制御 (岩見健太郎)

課題 5 : ビーム集光・結合 (上原日和)



ステージゲート(2027年11月)までは、積層型青紫色半導体レーザーにおいて短パルス動作、高繰返し動作及び高集光性を実現するため、5つの課題に重点を置いて取り組んでいきます

ロードマップ

MSプロジェクトでは
光源開発に注力！

2027

Stage Gate

- 5つの技術課題の評価
- 短パルス化・高電流密度化
- 縦積層化
- アレイ化・排熱設計
- 波面制御
- ビーム集光・結合

光源要素技術の開発

2029

Chip-level

- mJ-class, 1 ns, 10 Hz
- 固体表面アブレーション
- 自己保全・自律運用型コンパクト慣性核融合炉の概念設計

集積化の実証

2034

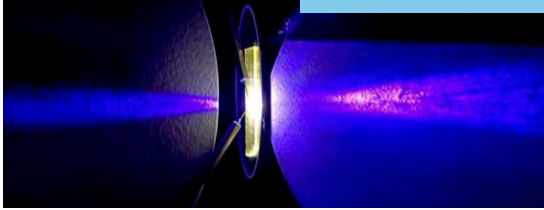
System-level

- 10 J-class, 1 ns, 10 Hz
- 核融合燃料圧縮による核融合反応
- 自己保全・自律運用型コンパクト慣性核融合炉要素技術の原理実証と宇宙応用

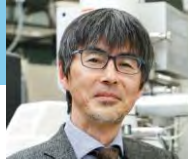
大面積化、ビーム結合

NIFSにおける具体的な研究内容

名城大 竹内哲也



世界最高効率・出力を達成した
名城大・竹内氏の青紫色VCSEL



竹内氏が青色VCSELの
三次元集積化に挑戦

NIFS可知化 宮嶋孝夫



- 開発したVCSELアレイの**パッケージ化**
- 短パルス駆動用の**大出力電源**の開発
- ナノ秒**短パルス動作**の実証

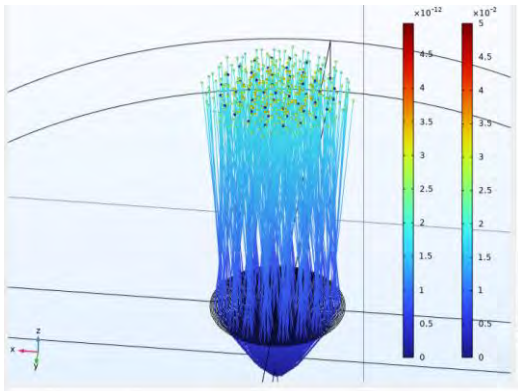
試料提供

フィードバック
デバイス最適化

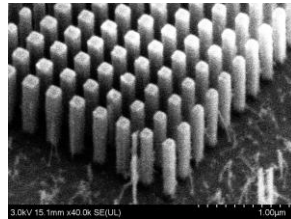
NIFS可知化 上原日和
東京農工大 岩見健太郎



- デバイスの**構造評価**(NIFS電顕群)
- 開発したVCSELアレイの**発振性能評価**
- 発散制御用**マイクロレンズアレイ**の開発
- 波面制御用**メタレンズ**の開発
- 要素技術の**統合試験**(ステージゲート前)



COMSOLを使ったマイクロレンズの
光線追跡シミュレーション@NIFS



岩見氏開発のメタレンズ構造
(EBリソで作製)

来月から東北大ARIM環境での
マイクロレンズアレイの微細加工を開始

NIFSにてポスドク 手島美帆氏、特命専門員 山岡義和氏を採用

青色VCSELの高出力化の波及効果

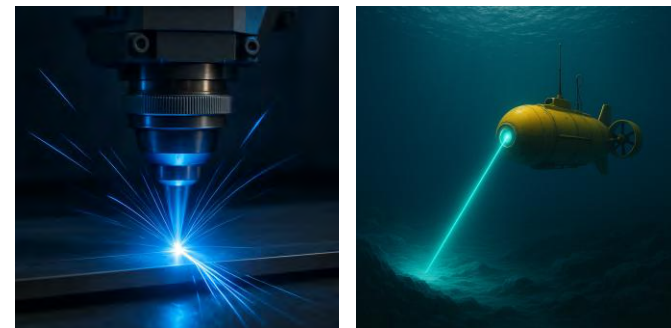
プロジェクトで開発を進める要素技術を確立することは、あらゆる電子・光学デバイスの高度化を促進する

●青色VCSEL励起の可視直接発振固体レーザーの実証と高出力化

●プラズマ計測への応用

安価で高出力、狭線幅で高ビーム品質な可視・紫外レーザーの光源利用

- レーザー加工用光源(難加工材料、水中加工)
- 海中での光無線通信、海洋探索
- その他(LIDAR、レーザークリーニングなど)



※チャットGPTで生成

レーザー核融合にとどまらず、磁場核融合やその他の幅広い分野への貢献が期待

課題推進や実用化に資するアイデアや技術をお持ちの産・学の研究者の参入を幅広く歓迎します

レーザー除染の研究構想

- JAEAでは、レーザー除染技術や、廃炉のための水中レーザー加工技術の研究が進んでいる。
- JAEAの研究者らとタッグを組み、**核融合のためのレーザー除染技術**の研究に着手する。
*LHD第一壁材料・ダイバータ材料や、タングステンが被加工対象
レーザー脱離による同位体等分析(QMSやAMS)、深さプロファイルの分析
再利用可能な局所加工を目指す*
- この共同研究について、JAEA内部の研究支援プロジェクトに申請済み(JAEA藤田)
- JAEA敦賀、東濃で使っている除染検証用レーザー加工機を購入済み(6月上旬NIFS納品)



※JAEA敦賀総合研究開発センターのHPから

共同研究者



NIFS可知化
田中将裕氏
(同位体分析)



JAEA敦賀
小菅淳氏
(レーザー除染技術)



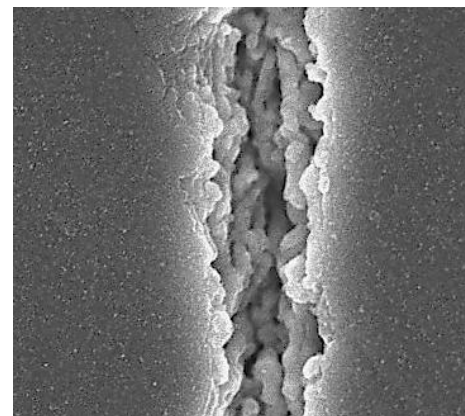
JAEA東濃・**NIFSクロアポ**
藤田奈津子氏
(AMSでの同位体分析)

NIFSレーザー加工環境の活用事例

- 新たなフェムト秒レーザー加工設備を整備。従来よりも大幅にパワーアップ。
- **共同利用の例**として、テルライトガラスへのフェムト秒レーザー照射による単体テルル結晶の析出を実証 (Science Tokyo岸哲生氏: ユニット研究戦略会議メンバー)
p型半導体であるテルルの細線描画により、電子デバイス開発に新展開
- レーザー加工、レーザー誘起相転移の検証や、超高速計測などの用途



岸氏のレーザー照射実験の様子(今年5月)
@NIFS計測実験棟



テルライトガラス($\text{K}_2\text{O}-\text{WO}_3-\text{TeO}_2$ ガラス)と
フェムト秒レーザー照射で析出したTe細線
※岸哲生氏提供

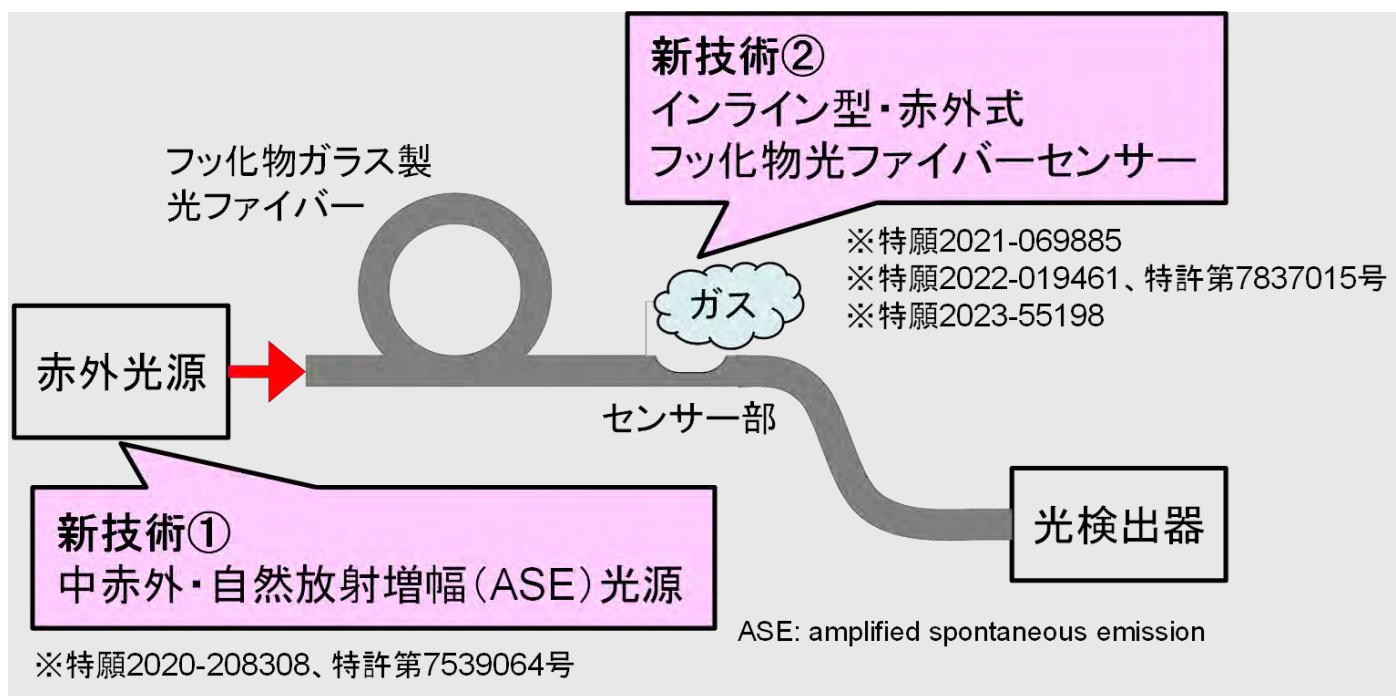


Science Tokyo
岸哲生氏

S&Iユニット研究戦略会議メンバー

環境センサーの研究

- 赤外式光ファイバーセンサーの研究で、今年度の基盤Bに採択された(代表:上原)
- 遠隔性が高く、リアルタイムでの環境計測が可能なセンサーデバイスの確立を目指す
- 合谷賢治氏(秋田県立大、ユニット研究戦略会議メンバー)らと協働し、研究を加速する



※JST新技術説明会での発表資料より
<https://www.youtube.com/watch?v=4plpQT4IR08>

- 上原, Sci. Rep. 11, 5432 (2021).
- 上原, Sens. Actuator B 351, 130904 (2022).

これまで当該課題で、JST A-STEP育成型(代表上原)、NEDO若サポ(合谷)、科研費基盤C(合谷)などに採択されていた。体制を整え、再始動する。

分担研究者



秋田県大・合谷賢治氏
S&Iユニット研究戦略会議メンバー
 (ファイバーセンサー構築、フェムト秒レーザー加工)



横浜国大
 西島喜明氏
 (プラズモンセンサー化、
 熱放射光源開発)



Science Tokyo
 片瀬貴義氏
 (赤外光検出用半導体
 材料の開発)

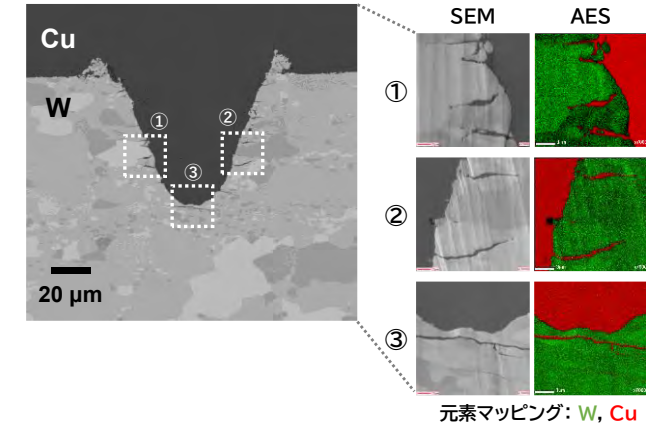
材料表面改質の研究

<タングステンのレーザー表面改質テーマ>

- レーザー痕でのアンカー効果増大によるタングステン／銅接合の研究
- ナノ秒レーザーによるクラック生成と電析による補修
(**NIFS材料ユニット室賀・能登**の研究、京大と協働)
- タングステンへのフェムト秒レーザー誘起・表面周期構造(LIPSS)の形成と制御

<タングステン等のプラズマ表面改質テーマ>

- タングステンへのヘリウム等プラズマ照射によるナノ構造形成
- 化合物半導体のプラズマ表面改質によるランダムレーザー素子の開発



レーザー加工痕を介した
タングステン／銅の無欠陥接合

- 上原, JLMN 17, 3 (2022).
- 上原, PFR 18, 1205017 (2023).
- 上原, Nucl. Mater. Energy 40, 101688 (2024).

共同研究者



名工大・**NIFSクロアポ**
宮川鈴衣奈氏
(fsレーザー加工)



北海学園大 藤原英樹氏
S&Iユニット研究戦略会議メンバー
(ランダムレーザー)



NIFSポスドク
Fabien Sanchez氏
(プラズマ照射)



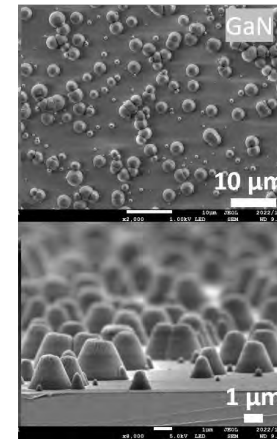
東大
Quan Shi氏
(プラズマ照射)



東大
梶田信氏
(プラズマ照射)



名大
田中宏彦氏
(プラズマ照射)



←Arプラズマ照射で形成したGaN表面ナノ構造
混合Heプラズマ照射で形成したタングステンのナノピラー↑

- 上原, ACS Appl. Opt. Mater. 1, 412 (2022).
- 上原, Langmuir 40, 12437 (2024).