

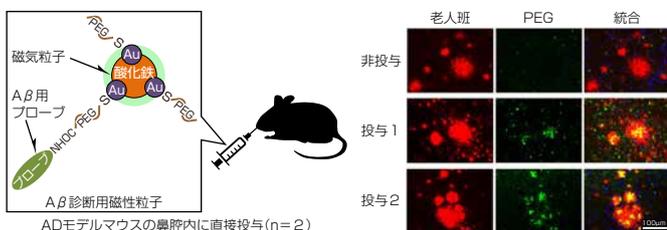
1.3 ゲームチェンジを起こす新技術 New Technologies for Making Game Changes

アルツハイマー病発症前の画像検査の実現に向けた磁気粒子イメージング装置



Magnetic Particle Imaging Device for Preclinical Alzheimer's Disease Detection

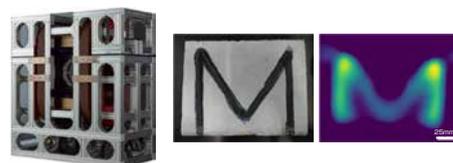
アミロイドβ (Aβ) に特異的に結合する磁気粒子と、ヒト脳サイズの領域に存在する磁気粒子を高感度に撮像可能な磁気粒子イメージング(MPI)装置の開発に成功した。アルツハイマー病(AD)は、脳内にAβという老廃物が沈着し、老人班を形成することが原因と考えられ、Aβの蓄積量を診断する技術の開発が期待されている。磁気粒子表面にAβに特異的に結合する分子プローブを担持することに成功し、ADモデルマウスに経鼻投与することで、脳内の老人班位置に磁気粒子が集積することを抗PEG(Polyethylene Glycol)染色によって確認した(*1)。MPI装置は、磁気粒子が外部から交流磁場を受けて生じる磁化信号を検出することで位置・量を画像情報として描写するが、交流磁場コイルを大径化すると、電源が大型化することが課題であった。今回、従来の25kHzから0.5kHzまで周波数を抑制しても高感度に磁気信号を検出できる



マウスへのAβ診断用磁性粒子の経鼻投与(左)、抗PEG染色による老人班への結合評価(右) (*1)

コイル構造を開発することで約0.1MWの総電源容量で実現した大型磁気粒子イメージング装置で、ヒト脳サイズと同等のターゲットの撮像に成功した。なお、今回の開発はAMED(国立研究開発法人 日本医療研究開発機構) 支援事業の下(*2)、6機関(大阪大学、大阪公立大学、岡山大学、神戸薬科大学、日本メジフィジクス株、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構)との共同研究で実施した。今後、2030年頃に実用化の目途を付けることを目標に、他社との協業も視野に入れて検討を進める。

- *1 Seino, S. et al.: Investigating the efficacy of nasal administration for delivering magnetic nanoparticles into the brain for magnetic particle imaging. *Journal of Controlled Release*, 367, 515~521 (2024)
- *2 今回の研究は、AMEDの助成金番号JP20hm0102073, JP21hm0102073, 及びJP22hm0102073の支援を受けた。



磁気粒子イメージング装置の試作機(左)、チューブに磁気粒子を注入したサンプル(中央)と撮像(右)

超小型高出力紫外レーザー技術



Small-Size and High Energy Deep-Ultraviolet Laser Technology

高出力パルスレーザーは加工やセンシング、防衛、核融合等の分野で活用され、特に紫外波長では需要が急増する半導体基板の配線ビアを小径化するために有効である。しかしジュール級の高出力のパルスレーザーでは従来低温冷却が必要であり装置が大型化していた。

今回、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度を通じて国立研究開発法人 理化学研究所及び大学共同利用機関法人 分子科学研究所と連携し、図1に示す常温でのジュール級レーザーを開発した。出力は波長1,064nmで2J、深紫外波長266nmに変換することで0.23Jが得られた。パルス幅は0.58ns、ピークパワーは0.36GWである。0.23Jはサブナノ秒パルスの深紫外レーザーでは世界最高クラスの出力で、同等出力のレーザーの報告と比較して倍の繰り返し周波数で実現した。さらにサイズは1.0×1.2(m)になり抜本的な小型化が可能であることを実証した。

要素技術となる高廃熱チップは透明ヒートシンクとレーザー媒質を常温接合することで高廃熱を実現している。また、マイクロチップレーザーは約8mmの小型共振器から高ピークのパルスを得られる。どちらもパルスレーザーの

抜本的な小型化に資する技術であり、より低出力のレーザーの小型化にも適用可能である。今後は、このような要素技術を用いて、ファイバーレーザー等と同等の出力を超小型に実現することで、既存レーザー市場の置き換えと新規市場創出を図る。

この研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けたものである。

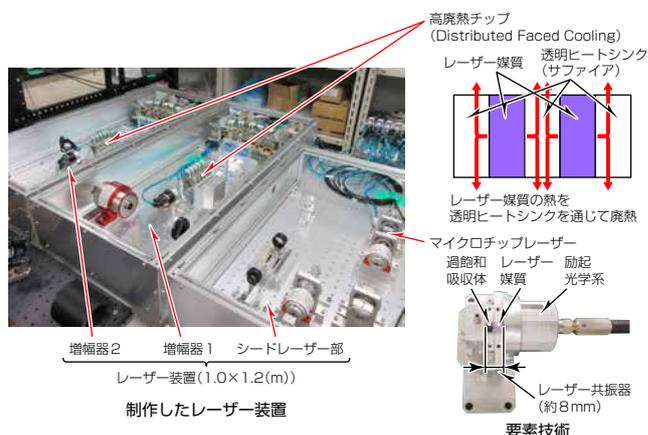


図1-レーザー装置と使用した要素技術

量子コンピューター向け高速・高精度なシリコン量子ドット

High-Speed and High-Fidelity Silicon Quantum Dots towards Quantum Computers

量子コンピューターの早期実現に向けて、高速・高精度な量子状態の読み出しを可能にする“高周波回路一体型シリコン量子ドット”を開発した。量子コンピューター(図1)は、量子ビットと呼ばれる量子情報の最小単位を用いて計算を行う。特に集積化に適したシリコン量子ドット中の電子スピンの向き(スピン量子ビット)を利用することによって、実用的な量子コンピューターに最低限必要とされる数百万規模の量子ビット配列が可能になるため、将来の超高速な量子計算の実現が期待される。他方、従来はスピン量子ビットの近傍に配置した電荷センサーの直流電流測定によって量子状態を読み出していたが、その高速・高精度化が課題であった。今回、東京工業大学(現:東京科学大学)とともに、電荷センサーに独自の高周波回路を接続した“高周波回路一体型シリコン量子ドット”を開発した(図2)。開発したシリコン量子ドットでは、新たな測定方式である高周波回路を介したマイクロ波反射測定によって、高速に量子状態を読み出すことが可能になる(図3)。また、高周波回路には直列

インダクターと並列インダクターを組み合わせた独自の回路構成を採用することによって、高精度な読み出しを可能にする広帯域な反射特性を実現した。シミュレーションの結果、従来と同等の精度を保ちつつ、量子状態の読み出し時間を40%程度削減できる見込みを得た。今後、評価による検証を行う予定である。



数百万規模の量子ビット
(画像:東京科学大学 小寺研究室提供)

図1-量子コンピューター

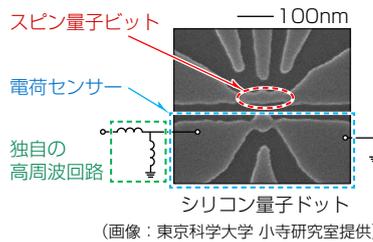


図2-高周波回路一体型シリコン量子ドット
(画像:東京科学大学 小寺研究室提供)

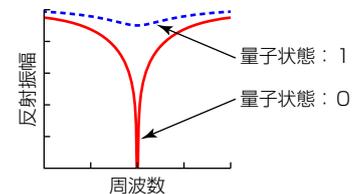


図3-マイクロ波反射測定による量子状態読み出しのイメージ

可視光/中波長赤外線グラフェンVGAイメージセンサー

Visible/Mid-wavelength Infrared Graphene VGA Image Sensors

グラフェン光ゲートダイオード(Graphene Photogated Diode: GPD)構造をVGA(Video Graphics Array)フォーマットにアレー化し、可視光及び中波長赤外線向けの裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサーを実現した。これまで、GPD構造を用いることで、光ゲート効果による信号増幅、暗電流の低減によるノイズ抑制が可能になることを実証してきた。今回、画素数640×512、画素ピッチ15μmのVGAフォーマットでGPDをアレー化し、GPDアレーのグラフェン上にインジウム(In)バンパを形成し(図1(a))、検出器の信号を読み出す回路と接合することで高感度化に有利な裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサー(図2)を実現した。GPDの検出波長がグラフェンと組み合わせる光増感層の材料で決定されることに着目し、可視光ではシリコン(Si)、中波長赤外線ではアンチモン化イン

ジウム(InSb)を選択することで、可視光と中波長赤外線のそれぞれに対応した裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサーの作製に成功した。今後、光増感層を所望の吸収波長を持つ材料に変えることで、更に様々な波長に対応したイメージセンサーを実現できる。

この研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けた。

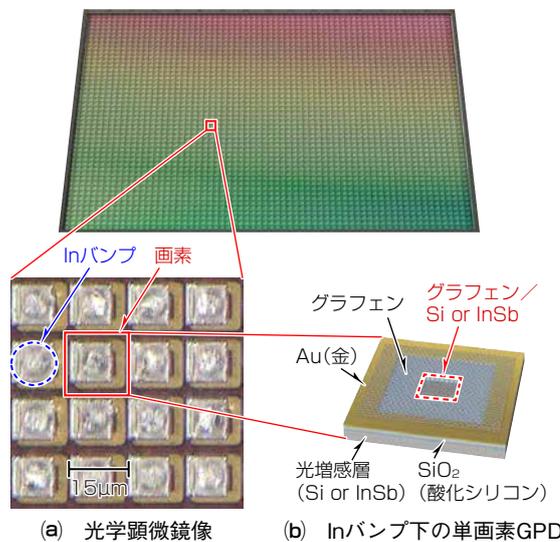
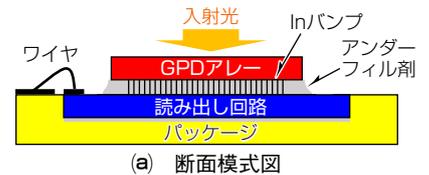
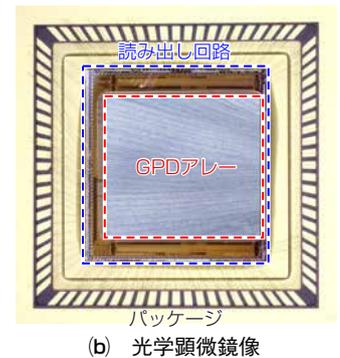


図1-GPDアレー



(a) 断面模式図



(b) 光学顕微鏡像

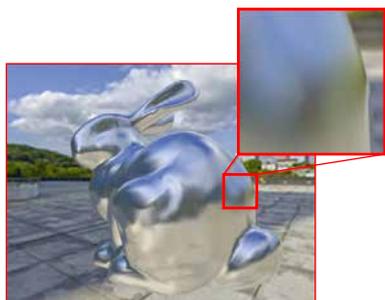
図2-裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサー

金属加工シミュレーション向け写実レンダリング技術

Efficient Rendering Technique for Machine Tools Simulator

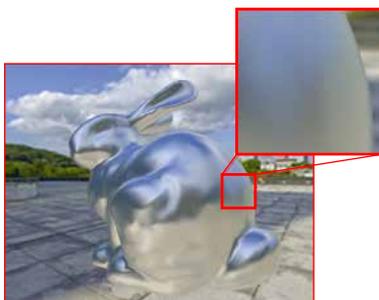
近年、デジタルツインを用いたデザイン・開発の効率化や資源の節約が注目されている。NC(Numerical Control)加工機で実用化されているデジタルツインを用いた3D加工シミュレーションの結果を写實的に描画することで、傷等の設計意図と異なる加工不具合の視認性を向上させる技術を開発した。今回、一般的に描画処理に適用されるプレフィルタリング近似手法を改良した。加工シミュレーショ

ンで得た微小形状に対して、代表的な法線を等間隔に取って、事前に光源環境マップに畳み込む改良で、異方性のある加工表面に対して高い描画精度を実現した。この手法によって、加工シミュレーション上の微小形状を、仮想空間上で視点や照明位置を任意に変化させて確認できる表示システムの実現が期待できる。



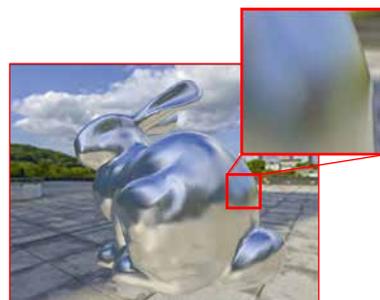
光線サンプリング数：1,024
描画時間：735.79秒

(a) 微小形状データを使ってレンダリングした場合



光線サンプリング数：4
描画時間：2.32秒
描画誤差(平均二乗)：35.355

(b) 従来のプレフィルタリング近似手法



光線サンプリング数：4
描画時間：2.41秒
描画誤差(平均二乗)：1.719

(c) 提案手法

従来手法と提案手法の描画結果比較

新デバイス創出へ向けた微小試験によるグラファイトの疲労特性評価

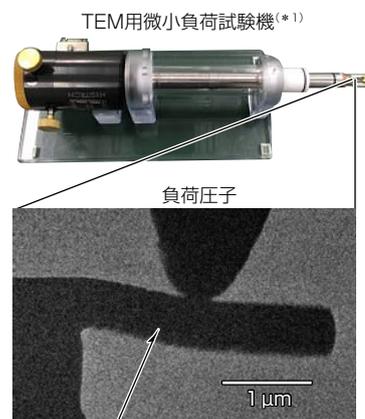
Evaluation of Fatigue Characteristics of Graphite by Micro Experiment

積層した二次元材料で構成される多層二次元材料には機械的、物理的に優れた性質を持つものがあり、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)の構造材料やその他熱電デバイス等への応用が期待されている。デバイスに適用する場合、疲労特性の理解が必要不可欠だが、試験片の作製や微小疲労試験の困難さからこれまで明らかになっていなかった。

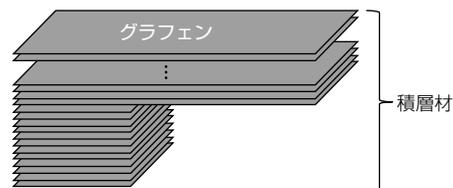
今回、グラフェンの積層方向が揃(そろ)ったグラファイトからFIB(Focused Ion Beam：集束イオンビーム)加工装置でマイクロ片持ち梁(はり)試験片を作製し、TEM(Transmission Electron Microscope)用微小負荷試験装置を用いることで、TEM内でのその場観察曲げ疲労試験を実現した。その結果、繰り返し数の増加に伴って、試験片の積層材料間で発生するせん断応力が低下し、繰り返し加工軟化を伴う疲労を示すことが明らかになった。



透過型電子顕微鏡(TEM) (*1)



TEM用微小負荷試験機 (*1)
負荷圧子
グラファイト試験片



グラファイト試験片の構成

*1 写真の出典：京都大学 平方研究室
<https://msr.me.kyoto-u.ac.jp/>

試験装置、試験片及び試験中TEM像