研究成果展開事業
産学共創基礎基盤研究 プログラム
「テラヘルツ波新時代を切り拓く革新的基盤技術の創出」

国立研究開発法人 科学技術振興機構

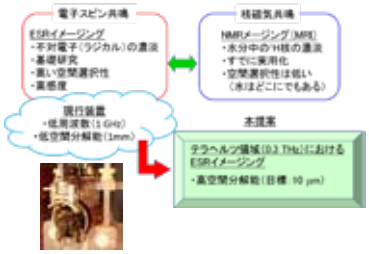
テラヘルツ電子スピン共鳴イメージング法の開発

研究機関名：神戸大学
所属名：大学院理学研究科
代表研究者：准教授　大道英二、終了予定2019年度（令和元年度）

研究・成果概要

研究の目標

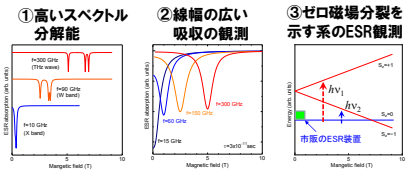
本課題の狙い：電子スピン共鳴（ESR）法を用いた新しいテラヘルツイメージング



テラヘルツESRの利点

・市販のESR装置・・・空洞共振器とマイクロ波ブリッジ
（周波数～9.4 GHz）

・本課題（テラヘルツESR）・・・
ミリ波～テラヘルツ波を用いたESR
（周波数　0.1-1.2 THz）



研究開発項目

実施項目（１）THz光源を用いた新しいESR測定法の開発

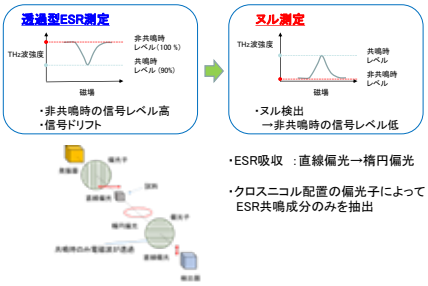
※ヌル検出法を用いた高感度スピン検出により10^{10} spinの検出感度を実現する

実施項目（２）3次元THzイメージング法の開発

※勾配磁場コイルをもちいたイメージングにより10 μmの空間分解能を実現する

実施項目（１）　THz光源を用いた新しいESR測定法の開発

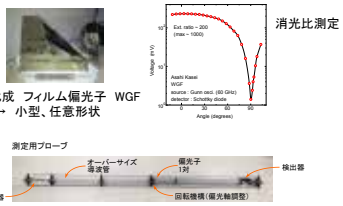
ヌル検出法



・ESR吸収　：直線偏光→楕円偏光

・クロスニコル配置の偏光子によってESR共鳴成分のみを抽出

測定装置

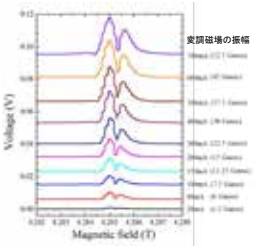


旭化成　フィルム偏光子　WGF
→　小型、任意形状

※光源：Gunn発振器　120 GHz（出力35 mW）

※検出器：FMB検出器（北里大、伊藤先生）
P_{max} < 1 μW　→　ヌル検出が必須

実験結果



試料：DPPH粉末 0.1 mg
測定：室温

・ベースライン　→　ほぼフラット

・変調磁場の大きさ
∝信号強度

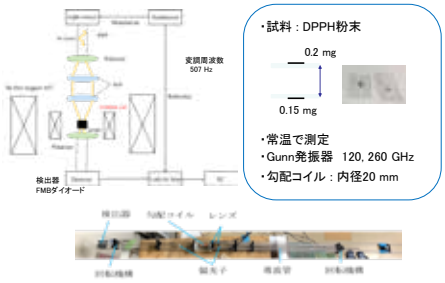
・信号雑音比～2000

→　最小検出スピン数
N_{min}~5 × 10^{13} spins

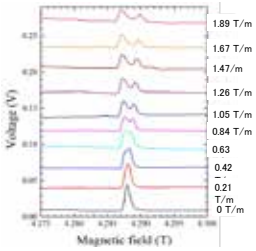
→　スピン感度
$N_{min}/\Delta B$ ~ 2 × 10^{13} spins/mT
（2 × 10^{12} spins/G）

実施項目（２）　3次元THzイメージング法の開発

イメージング装置



実験結果１



1.5 mm離れたDPPHの空間分解ESR測定結果（120 GHz）

空間分解能の見積もり

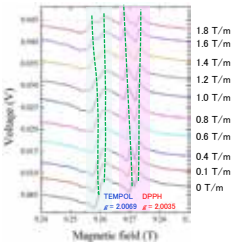
・半値半幅における線幅　$\Delta B_{1/2}$
・磁場勾配　G（G/mm）

空間分解能 $d = \frac{\Delta B_{1/2}}{G}$

$\Delta B_{1/2}$ = 0.935 mT
G = 2.2 T/m

空間分解能 d = 0.43 mm

実験結果２



2 mm離れた混合試料の空間分解ESR測定結果（260 GHz）

DPPH(黒色)とTEMPOL(黄色)の混合試料
DPPH　0.2 mg , 0.15 mg　g値 2.0035
TEMPOL 2.1 mg , 1.55 mg　g値 2.0069

Gunn発振器 260 GHz
→高スペクトル分解能

混合試料の空間分解ESR測定

想定する分野・用途

・リチウムイオン電池等のキャリア挙動（充放電サイクル中の価数変化やデンドライト検出）
・ペロブスカイト太陽電池、ポリマー太陽電池等の信頼性評価（欠陥、劣化）

最終目標

テラヘルツ波を用いた高分解能電子スピン共鳴法イメージングにより、電子スピンの空間マッピングを行い、材料評価に活かす
・高いスピン検出感度（～10^{10} spins/G）　・高い空間分解能（～10 μm）

産業界への期待・要望

・電子スピン共鳴に対する要望・提言：実際の研究・開発の場面において、「電子スピンの空間分布を知りたい」、という場面があれば教えてください。