





# アトミックスケール電磁場解析プラットフォーム

世界で唯一の収差補正機能付き超高圧ホログラフィー電子顕微鏡をはじめとする、アトミックスケールでの電磁場計測装置・計測技術を、国内外の第一線の材料研究および量子物理分野の課題解決に広く活用できるよう共用プラットフォーム化し、イノベーションの創出に貢献します。 [https://www9.hitachi.co.jp/atomicsscale\\_pf/](https://www9.hitachi.co.jp/atomicsscale_pf/)



## 実施四機関の特長と主な共用装置

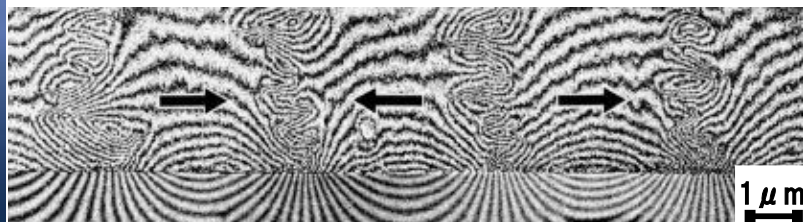
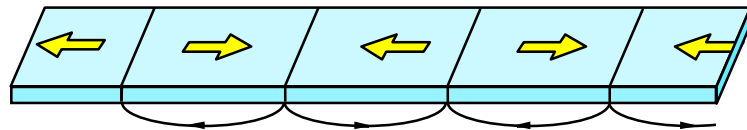
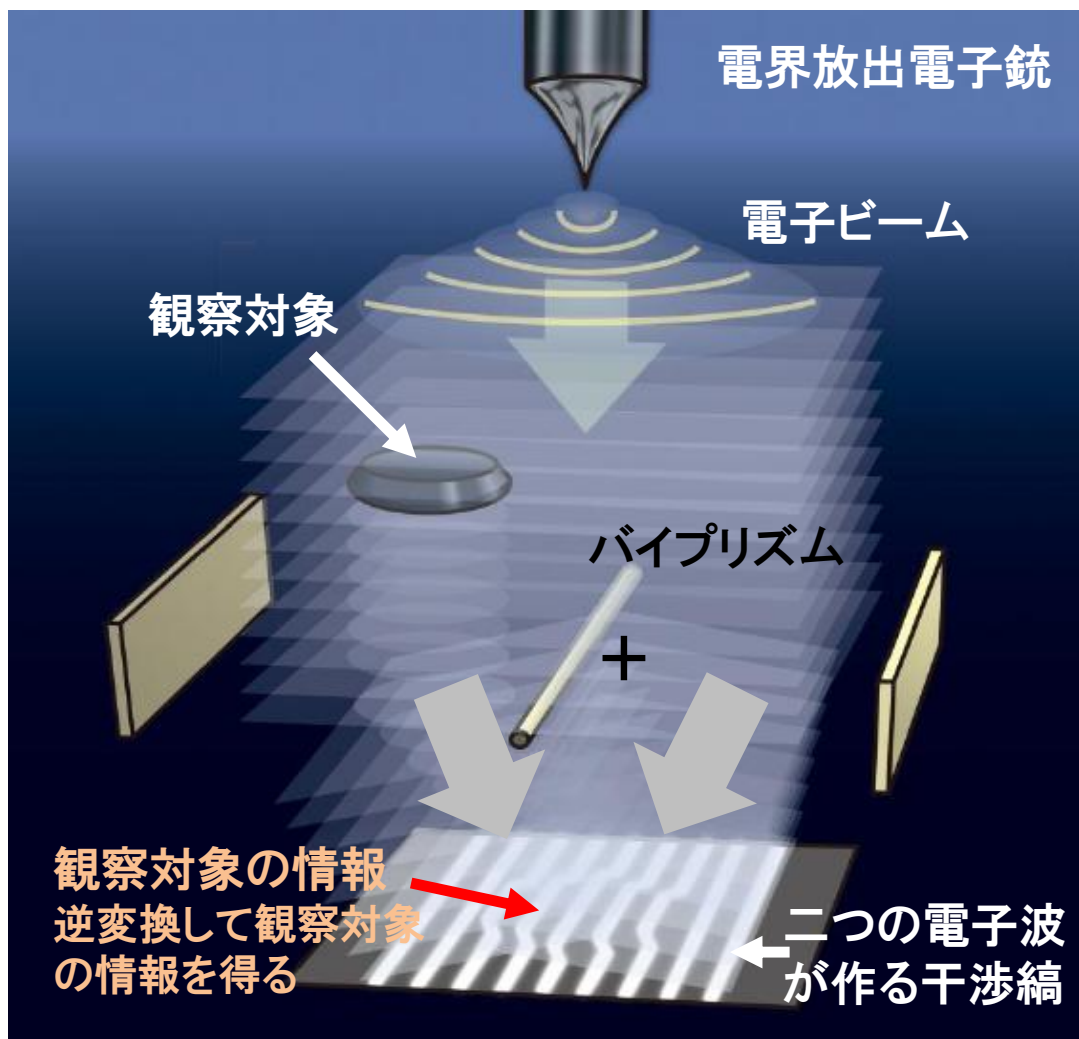
日立製作所 (研究開発グループ)	ファインセラミックスセンター (ナノ構造研究所)	九州大学 (超顕微解析研究センター)	東北大学 (多元物質科学研究所)
埼玉県比企郡	愛知県名古屋市	福岡県福岡市	宮城県仙台市
世界唯一の収差補正機能付き超高圧ホログラフィー電顕(*1)を所有。厚膜の計測に特長を発揮。	半導体デバイス、電池など産業界向けの計測実績多数。試料作製のノウハウも豊富。	金属材料の研究で世界有数の実績。事業には昨年導入した新規装置で対応。	材料分野での知見が豊富な多元物質科学研究所内の研究室で事業を実施。
<b>1.2MVホログラフィーTEM (*2)</b>	<b>300kVホログラフィーTEM</b>		
			
厚膜透過観察 超高分解能 (～43pm) 磁場印加 (500mT以上)	高分解能 (～200pm) 試料の加熱及び冷却、電圧印加 磁場印加 (～120mT)	高分解能 (～200pm) 試料の加熱及び冷却 電圧印加、磁場印加 (～50mT)	高分解能 (～170pm) エネルギー分析像 試料への光or電子の照射

(\*1) 本装置は総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラム (内閣府)により、日本学術振興会の助成を受けて開発されました。

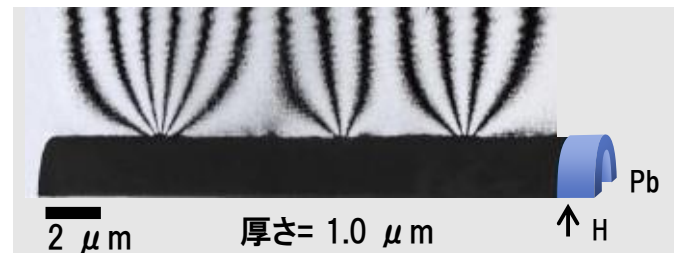
(\*2) TEM : Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡)

# ホログラフィー電子顕微鏡の原理

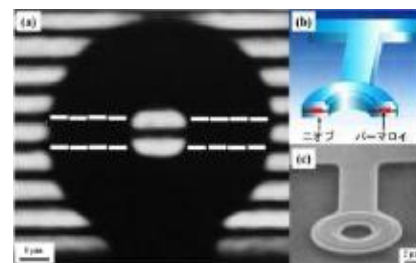
金属先端から放出される、レーザー光のような高輝度の電子ビームが波として振舞い形成される干渉縞から観察対象の構造や電磁場を高分解能で計測する技術です。



磁気記録テープの磁力線観察例 1983



超伝導体から漏れ出る磁束量子の可視化 1985



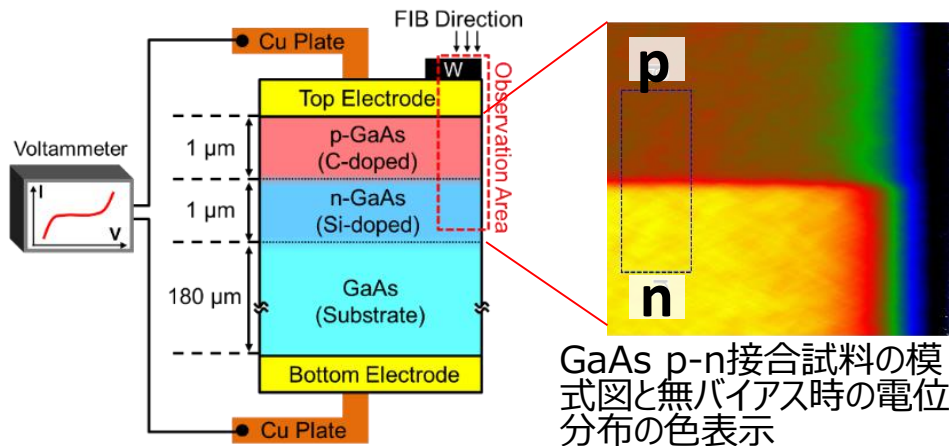
電磁場が存在しなくてもベクトルポテンシャルが存在すれば電子波が影響を受ける（位相が変化する）ことを実証

アハラノフ・ボーム効果の実証 1986

# 平成29年度の成果例（産業向け）

## GaAs p-n接合試料のその場電位計測

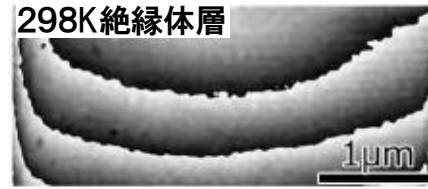
- バイアス印加に伴うGaAs p-n接合の電位・電場・電荷密度分布の変化を電子線ホログラフィーにより評価することに成功した。
- p-n接合の内蔵電位、空乏層幅がそれぞれ1.55V、24 nmであることを明らかにした。



## 新規デバイス開発を見据えた遷移金属酸化物の電位分布解析

- メモリや太陽光発電など、様々なデバイスの開発に期待が寄せられる遷移金属酸化物の電位分布を計測した。
- 電顕観察下で温度を変化させ、金属-絶縁体相転移の前後で、VO<sub>2</sub>試料の等電位線の様子が一変した。その効果には明確な温度依存性があることを電磁場イメージングの立場から示した。

298K 絶縁体層

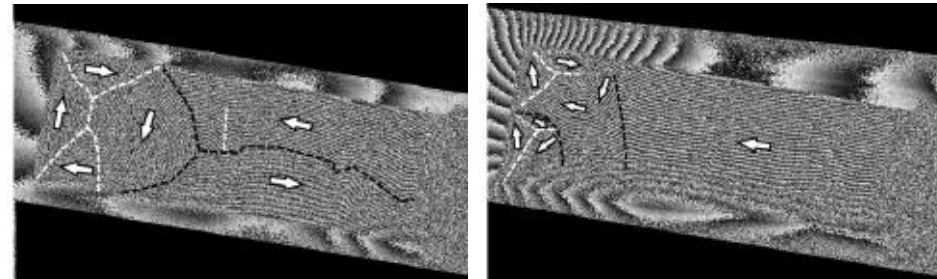


422K 金属層

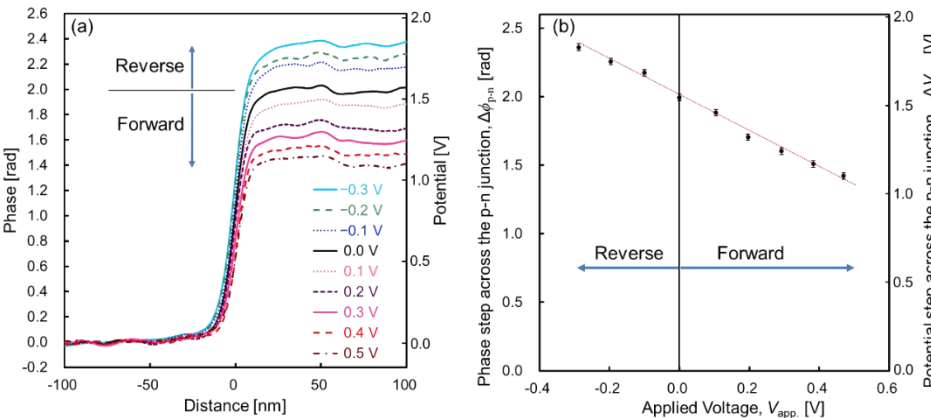


VO<sub>2</sub>試料の位相再生像

## 高周波トランス用MnZnフェライトの磁区構造観察



電源用トランスやチョーク用材料として用いられるMnZnフェライトの残留損失と相関がある磁区構造および磁壁の動きを、外部磁場印加しながら観察し、材料特性の裏づけを得た。印加磁場：左4mT、右6mT



バイアス印加に伴うp-n境界部の位相断面(a)及びp-n間の位相差(b)

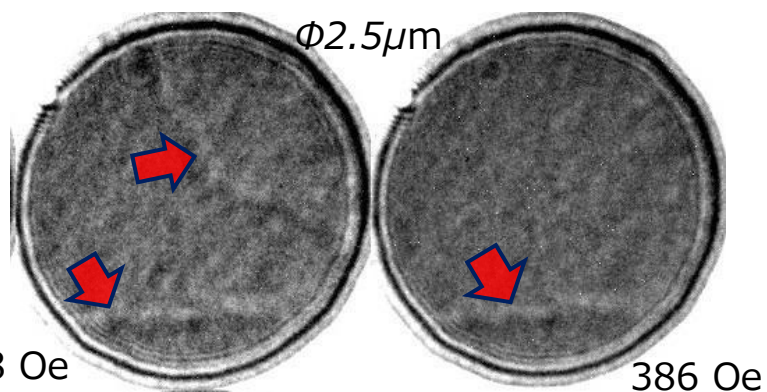
# 平成29年度の成果例（アカデミア向け）

## 低次元強磁性体（ $K_2CuF_4$ ）における 極低温での磁気構造観察

特異的な磁気異方性をもつ磁性体の転移温度以下における**巨大な磁気揺らぎを超高圧ホログラフィー電子顕微鏡で観察**することを目指している。これまでに、計測対象物質を電顕中で所望の**転移温度 $T_c$ 以下（ $<6.4K$ ）に冷却**できることを確認した。平成30年度は磁気渦構造の観察を実施中である。

## 金属多層膜中に生じるスキルミオンの観測

室温で安定に存在できるネールタイプ<sup>°</sup>（放射状のスピ配列状態）**磁気スキルミオン**の高分解能直接観察を目指している。これまでに、超高圧ホログラフィー電子顕微鏡によるローレンツ顕微鏡法で観察し、磁気スキルミオンの存在を確認した。平成30年度は電子線ホログラフィー法により高精度定量観測に挑戦する。

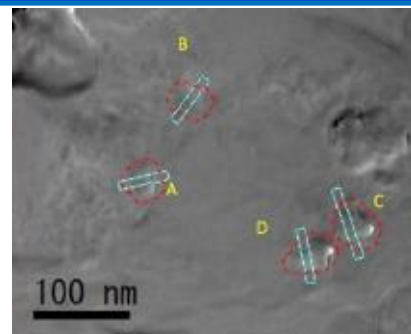


観察されたスキルミオンと思われる構造

外部磁場印加強度により変化した

## 彗星起源宇宙塵の残留磁化計測

彗星や小惑星などの起源を探る重要なサンプルである宇宙塵に含まれるケイ酸塩ガラス粒子の生成過程を探るために、それらの粒子に含まれる**磁性ナノ粒子に注目し、その残留磁化**を電子線ホログラフィーで直接計測した。

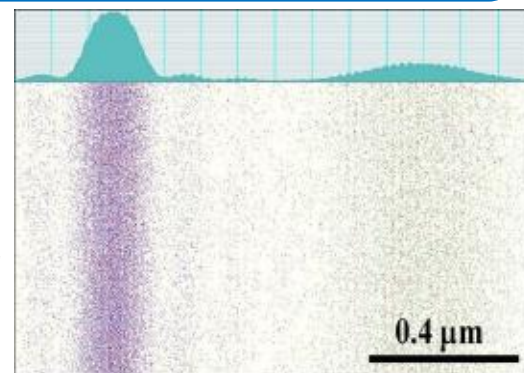


宇宙塵の磁束起因の電子位相分布像

4つの粒子の位相変化から磁束磁束が $3.0 \sim 5.6 \times 10^{-16}$  Wbであることがわかった

## 電子の二重性の不思議解明に向けた Which-way experimentへの挑戦

波動/粒子の二重性を明示する二重スリットの実験において、電子が**どちらのスリットを通過したか**を検出したうえで、干渉縞を検出する工夫を施した実に挑戦中。スリットを実質的に開閉できる構成で実験できることを確認した。



単電子像を分類した干渉パターン

スリットを通過した電子を一個ずつカウントし、通過したスリットに応じて3通りに色付けして合成描画した



- ◆ 第一次の装置利用受付は7月末に締め切りました。二次の受付を開始しています。
- ◆ 技術相談も随時受け付けております。お気軽にご連絡ください。
- ◆ 成果の公開を原則としますが、非公開利用をご希望の場合は事前にご相談ください。
- ◆ ホログラフィー電子顕微鏡技術者育成講習会を適宜実施します（去年は九州大学で実施）。平成28年度は、本技術の普及のために研究会や国際シンポジウムを開催しました。

