

## 原子分解能ホログラフィーによる中距離局所構造のサイエンス

研究代表者

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・大門寛

共同研究対応者

東北大学・金属材料研究所・林好一

### 1. はじめに

光電子ホログラフィーや蛍光X線ホログラフィーに代表される原子分解能ホログラフィーとは、2～subÅ の波長を持つX線・電子線・中性子線を物質に照射することにより、内部のソース(原子・核)から発生する電子、蛍光X線、ガンマ線などの散乱干渉を観察する、比較的、新しい構造解析手段である。この技術は、「特定元素のまわりの数原子先の原子配列を三次元的に可視化したイメージとして直接法で観測する」ことを大きな特徴とする。X線光電子ホログラフィーにおいても、蛍光X線ホログラフィーにおいても、近年、日本はこの分野で世界をリードし様々な成果を上げてきた。しかし、それのみではなく、原子ゆらぎの定量化や、表面磁気構造の決定など、従来の手法では求めることができなかった物理情報をも提供できる手段として常に進化し続けている。

また、長周期の平均的な原子配列を計算と比較して解析するX線、電子線回折や、最近接あるいは第2近接原子間距離について大きな力を発揮するX線吸収微細構造(XAFS)とは異なり、表面構造や、多くの元素を含んだ複雑物質におけるクラスター、薄膜などの低次元物質の3次元構造が直接法で得られる解析法として極めて有力である。そのような観点から、機能性材料の研究者が最も知りたい内容に合致している点も多く、第三の構造測定手段として、原子分解能ホログラフィーは大きな期待が寄せられている。加えて、基礎的な観点からも、「中距離局所構造」という新たな内容のサイエンスを展開できる魅力的な学問分野である。他方、昨今のナノサイエンス・ナノテクノロジーの進展を反映し、微小領域の解析、また、時分割の構造解析等が求められる機会が増えている。従来の解析技術では、そのような高度なニーズを満たすことは容易ではなかったが、最近、優れた性能を持つ光源や検出器が続々と開発されており、これまでであれば容易には解くことのできなかった諸問題に明快な解答を与えるべく、解析技術を大幅に高度化しようという機運が高まっている。本研究では、最新の研究状況、特に「中距離局所構造」の理解による、機能、物性等に関する未解決問題への取り組み状況や今後の展開を討論するためのワークショップを開催する。

### 2. 研究経過

本研究組織の主体は、大まかにX線光電子ホログラフィーと蛍光X線ホログラフィーのグループによって構成されている。我々が、光電子ホログラフィーの研究を開始したのは1996年、蛍光X線ホログラフィーを開始したのは1998年に遡るが、これらのテーマを統合し討論する意義が認められたのは比較的最近のことである。両手法は、測定手段は異なっても現象としてきわめて類似しており、サイエンスとしてかなりの部分で共通性を持つ。このため、お互いの技術の情報交換により大きな相乗効果を生み出すであろうことは、これまでも分かっていた。しかしながら、それぞれのグループの発表する分野が必ずしも一致しないことなどもあり、交流が必ずしも十分ではなかった経緯がある。このような流れのなかで、2008年秋に、本共同研究の対応者の林はSPRING-8利用者懇談会の下で、「原子分解能 X 線励起ホログラフィー研究会」(<http://sekigane.spring8.or.jp/xhologram/>)を立ち上げた。その後、定例的に小規模な研究会を開催している。また、本手法の有用性を広く認知してもらう目的で、2010年3月には日本物理学会(岡山)でのシンポジウムも開催した。そして、今回のワークショップ開催に至る。開催に当たり、原子分解能ホログラフィーに関するもののみでなく、最先端のX線光学素子や放射光・中性子実験施設の近況、本手法の適用がブレークスルーをもたらすと思われる先端材料に関するトピックを盛り込むことを企画した。

### 3. 研究成果

2010年11月12日および13日に、東北大学金属材料研究所の2号館講堂にてワークショップを開催した。以下に会場の写真やプログラムを示す。



ワークショップの会場の様子



ワークショップの予稿集

■11月12日(金)

- ▶ 9:00 はじめに 大門寛<奈良先端科大・物質創成科学>
- ▶ 9:10 原子分解能ホログラフィーの歴史 林好一<東北大・金研>

セッション1(座長:細川伸也)

- ▶ 9:30 光電子回折分光法によるグラフェンの局所電子状態解析  
松井文彦<奈良先端科大・物質創成科学>
- ▶ 9:50 原子分解能ホログラフィーの再構成理論  
松下智裕<SPRING-8・JASRI>
- ▶ 10:10 III-V族化合物半導体表面の光電子回折による構造解析  
下村勝<静岡大・電子工学研>
- ▶ 10:30 休憩

## セッション 2(座長:西野吉則)

- ▶10:45 特別講演:フーリエ反復位相回復法と電子回折イメージング  
郷原一寿<北海道大学・工学研究科>
- ▶11:20 ワイゼンベルグ RHEED による直接的構造解析の試み  
虻川匡司<東北大・多元研>
- ▶11:20 逆光電子ホログラフイーの実用性と入射電子線の最適エネルギーに関する考察  
上坂彰朗<(株)東北テクノアーチ>

▶12:00 昼食

## セッション 3(座長:林好一)

- ▶13:20 特別講演:機能性化合物の単結晶作製  
宍戸統悦<東北大・金研・附属金属ガラス総合研究センター>
- ▶13:55 Ti-Ni-Fe 系形状記憶合金における非整合-整合相変態と前駆現象  
寺井智之<大阪大・工>
- ▶14:15 Mn ドープ ZnSnAs<sub>2</sub> 薄膜の室温強磁性  
内富直隆<長岡技術科学大>

▶14:35 休憩

## セッション 4(座長:八方直久)

- ▶14:50 放射光 X 線磁気回折実験による 3d/4f 電子系のスピンおよび軌道磁気モーメント密度分布の直接観測  
鈴木宏輔<群馬大・工>
- ▶15:10 形状記憶合金オーステナイト単結晶の内部組織  
山本篤史郎<東北大・金研・附属金属ガラス総合研究センター>
- ▶15:30 YbInCu<sub>4</sub> の電子状態と結晶構造  
佐藤仁<広島大・放射光科学研究センター>

▶15:50 休憩

## セッション 5(座長:高橋敏男)

- ▶16:05 特別講演:金研での中性子ホログラフイー計画:磁気ホログラフイーへの展開  
大山研司<東北大・金研>
- ▶16:40 水素吸蔵材料の中性子線ホログラフイー  
林好一<東北大・金研>
- ▶17:00 光電子回折法による SiC 上の SiON 薄膜の構造解析  
前島尚行<東北大・金研>
- ▶17:08 2ビーム入力多重ブラッグ-ラウエ型干渉計  
平野健二<埼玉工大・先端科学研>
- ▶17:16 Mn ドープ ZnSnAs<sub>2</sub> 薄膜の熱処理効果  
山神圭太郎<長岡技術科学大>
- ▶17:24 Local structural order in amorphous ternary chalcogenide systems:  
Magnetic resonance approach  
Eldar Mamadov<長岡技術科学大>
- ▶17:32 La をドープしたチタン酸ストロンチウムの構造相転移  
尾崎徹<広島工大・工>

## ■11月13日(土)

## セッション 6(座長:松井文彦)

- ▶9:00 表面X線回折法と位相問題  
高橋敏男<東大・物性研>
- ▶9:20 硬X線フーリエ変換ホログラフイーによる磁気イメージング法の開発  
鈴木基寛<SPRING-8・JASRI>
- ▶9:40 Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  表面超構造の光電子ホログラフイー  
橋本美絵<奈良先端科大・物質創成科学>
- ▶10:00 Display-type ellipsoidal mesh analyzer の開発  
後藤謙太郎<奈良先端科大・物質創成科学>

▶10:20 休憩

#### セッション 7(座長:松下智裕)

- ▶10:40 Applications of X-ray Fluorescence Holography to Materials Sciences  
細川伸也<広島工大・工>
- ▶11:00 強磁性半導体  $\text{Ge}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Te}$  の蛍光X線ホログラフィー  
八方直久<広島市大・情報>
- ▶11:20 蛍光 X 線ホログラフィーによる  $\text{TlInSe}_2$  の 3 次元原子像  
三村功次郎<大阪府大・工>
- ▶11:40 3D Local Structure Analysis of Fe doped Ti-Ni Single Crystal  
by X-ray Fluorescence Holography  
Hu Wen<SPring-8・JAEA>
  
- ▶12:00 昼食

#### セッション 8(座長:鈴木基寛)

- ▶13:30 電子回折顕微鏡法を用いた結晶原子配列の可視化  
山崎順<名大・エコトピア研>
- ▶13:50 特別講演:SPring-8 XFEL の現状と単一粒子イメージングへの応用  
登野<理研 XFEL 推進本部 利用グループ>
- ▶14:25 放射光や自由電子レーザーを用いたコヒーレントイメージング  
西野吉則<北大・電子科学研・コヒーレント X 線光学研究分野>
- ▶14:45 X線の多波回折による位相計測を利用した Si 結晶中の微小ひずみの測定  
矢代航<東大・新領域創成科学>
  
- ▶15:05 総括 大門寛<奈良先端大・物質創成科学>

#### 4. まとめ

特別講演(35分)が4件、普通講演(20分)が22件、ショートプレゼンテーション(9分)が5件の計31件が発表され、48名の参加者が活発な議論を行った。今後、この議論を基に、微小領域・時分割測定に向けた装置・解析手法の高度化、応用研究に対する今後の指針を検討し、新規ユーザー獲得や新しいホログラフィーサイエンスの開拓を実現していきたい。加えて、XFEL(X線自由電子レーザー)・J-PARC(大強度パルス中性子源)などの新光源利用を想定した新たな提案の創出にも挑戦していきたい。なお、講演の内容の一部は、日本表面科学会の e-journal of Surface Science and Nanotechnology にプロシーディングスとして掲載される予定である。