

様式 Z - 7

## 平成25年度科学研究費助成事業 実績報告書(研究実績報告書)

1. 機関番号 

1	4	6	0	3
---	---	---	---	---

 2. 研究機関名 奈良先端科学技術大学院大学
3. 研究種目名 基盤研究(B) 4. 研究期間 平成25年度～平成28年度
5. 課題番号 

2	5	2	8	7	0	7	5
---	---	---	---	---	---	---	---
6. 研究課題名 逆光電子回折現象を利用したバルク敏感性可変原子構造解析法の確立と応用

## 7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者名	所属部局名	職名
6 0 3 2 4 9 7 7	マツイ フミヒコ	物質創成科学研究科	准教授
	松井 文彦		

## 8. 研究分担者

研究者番号	研究分担者名	所属研究機関名・部局名	職名

## 9. 研究実績の概要

最近私たちは、結晶中の自由電子の非弾性散乱過程に光電子回折とは逆の吸収過程があり、エネルギー損失電子の角度分布に、励起源の偏光や種類(光・電子)に関わらず、光電子回折模様とは真逆のネガコントラスト模様が観察されることを発見した。この「逆光電子回折」による新規原子配列解析法の開発が目標である。

1. 既報(J. Phys. Soc. Jpn. 81(2012)013601)のGe(111)について発見した現象は、Siや金属のCuでも確認。こうした定量的な知見は通常の光電子回折やAuger電子回折に与える影響を正確に除去するのに役立っている。現在CuのAuger電子回折の円二色性について定量的な解析を進めているが、Ge(111)の「逆光電子回折」とその「円二色性」の信号の減衰から、実際にCuのAuger電子回折に円二色性が現れるのを実証することができた。

2. 当現象に興味を持つA. Winkelmann博士(独Max Planck研究所)に理論面からのサポート得た。波数空間上での結晶格子と多数の平面波との相互作用を積算するアプローチでGe(111)のネガコントラスト模様のシミュレーションを行っていただいた。成果はJ. Ele. Spec. trosc. Relat. Phenom.誌の特集号に掲載される予定。

3. スイス放射光施設にて3週間のビームタイムを獲得し、光電子回折の高エネルギー分解能測定による研究が大幅に進展した。

4. 研究拠点の一つであるSPring-8 BL25SUのランチ化を含む大幅な改造工事に伴い、2次元光電子分光実験ステーションの移設とメンテナンスを進めている。

5. 2013年5月より、新規に研究室を立ち上げた。新規表示型電子分析器のデザインと製作を進めている。真空排気系と試料搬送系の整備を終えた。収束電子銃の導入も済んだ。現在、分析器各要素の組み立ては進行中。

## 10. キーワード

- (1) 表面・界面構造 (2) 表面・界面物性 (3) 光電子回折 (4) Auger電子
- (5) 二次電子 (6) 非弾性散乱 (7) (8)

## 11. 現在までの達成度

(区分)(2) おおむね順調に進展している。

(理由)

1. 当初、予定していなかった独立した研究室への異動・昇格があった。そのため、新たに実験室の整備や真空排気系の構築などを行った。
2. 分析器の立ち上げに試行錯誤がありやや遅れているが、当初H26年度に予定していた収束電子銃の導入を前倒しして試料表面上の電子線の走査のテストなどを実現できるようにした。
3. SPring-8での移設作業が順調に進行している。
4. 建設協力を行ってきたスイス放射光施設の光電子回折ビームラインが順調に立ち上がり、初期建設グループの専用利用が前倒して実施できた。

## 12. 今後の研究の推進方策 等

(今後の推進方策)

研究室のメンバー(研究代表者と配属の学生2名)に新たに博士研究員としてこれまで共同研究を進めてきた方が加わった。また新規に学生3名配属される予定である。この新体制で次の3課題に取り組む。

1. 小型分析器の完成・実用化に注力する。電子銃および分析器の電位制御、試料処理・搬送系の準備と測定・解析系で担当を分担し、開発のスピードを上げる。
2. SPring-8 BL25SU2次元光電子分光装置の再立ち上げを行う。SPring-8軟X線チームの多大な支援を受け推進中。
3. スイス放射光施設での高分解能光電子回折実験60 eVから1 keVまでの広い光エネルギー域の実験ができることがわかった。Auやグラフェンを数原子層を表面に蒸着し、バルク敏感性の検証実験を行う。
4. NiやCu表面上のグラフェン単層膜など試料を提供いただける方との共同研究が着実に進んでいる。評価実験に適した試料を共同で開発する。

(次年度使用額が生じた理由と使用計画)

(理由)

(使用計画)

## 13.研究発表(平成25年度の研究成果)

(雑誌論文) 計(7)件 うち査読付論文 計(7)件

著者名		論文標題			
H. Matsui, F. Matsui, N. Maejima, H. Daimon, T. Matsushita, H. Ariga, K. Asakura		Atomic structure and catalytic activity of W-modified Ni2P surface alloy by photoelectron diffraction and spectroscopy			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	有	12	2014	53-56	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.1380/ejsnt.2014.53					

著者名		論文標題			
N. Maejima, F. Matsui, H. Matsui, K. Goto, T. Matsushita, S. Tanaka, H. Daimon		Site-specific atomic and electronic structure analysis of epitaxial silicon oxynitride thin film on SiC(0001) by photoelectron and Auger electron diffraction			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Journal of the Physical Society of Japan	有	83	2014	044604-1-5	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.7566/JPSJ.83.044604					

著者名		論文標題			
Y. Ueoka, Y. Ishikawa, N. Maejima, F. Matsui, H. Matsui, H. Yamazaki, S. Urakawa, M. Horita, H. Daimon, Y. Uraoka		Analysis of electronic structure of amorphous InGaZnO/SiO2 interface by angle-resolved X-ray photoelectron spectroscopy			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Journal of Applied Physics	有	114	2013	163713-1-6	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.1063/1.4828869					

著者名		論文標題			
H. Yamazaki, Y. Ishikawa, M. Fujii, Y. Ueoka, M. Fujiwara, E. Takahashi, Y. Andoh, N. Maejima, H. Matsui, F. Matsui, H. Daimon, Y. Uraoka		The Influence of Fluorinated Silicon Nitride Gate Insulator on Positive Bias Stability toward Highly Reliable Amorphous InGaZnO Thin-Film Transistors			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
ECS Journal of Solid State Science and Technology	有	3	2   0   1   4	Q20-Q23	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.1149/2.014402jss					

著者名		論文標題			
T. Matsushita, F. Matsui, K. Goto, T. Matsumoto, H. Daimon		Element Assignment for Three-Dimensional Atomic Imaging by Photoelectron Holography			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Journal of the Physical Society of Japan	有	82	2   0   1   3	114005-1-5	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.7566/JPSJ.82.114005					

著者名		論文標題			
F. Matsui, R. Ishii, H. Matsuda, M. Morita, S. Kitagawa, T. Matsushita, S. Koh, H. Daimon		Characterizing Edge and Stacking Structure of Exfoliated Graphene by Photoelectron Diffraction			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Japanese Journal of Applied Physics	有	52	2   0   1   3	110110-1-5	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.7567/JJAP.52.110110					

著者名		論文標題			
S. Roth, F. Matsui, T. Greber, J. Osterwalder		Chemical Vapor Deposition and Characterization of Aligned and Incommensurate Graphene/Hexagonal Boron Nitride Heterostack on Cu(111)			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Nano Letters	有	13	2   0   1   3	2668	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.1021/nl400815w					

〔学会発表〕計(22)件 うち招待講演 計(0)件

発表者名		発表標題	
堀江理恵, 松井文彦, 滝沢優, 相澤俊, 大谷茂樹, 難波秀利, 大門寛		直線偏光2次元光電子分光法によるZrB <sub>2</sub> 、NbB <sub>2</sub> 価電子帯の原子軌道解析	
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本物理学会第69回年次大会	2014年03月27日～2014年03月30日	東海大学湘南キャンパス、神奈川県平塚市	

発表者名		発表標題	
R. Horie, F. Matsui, N. Maejima, H. Matsui, T. Matsushita, S. Otani, T. Aizawa, H. Daimon		Atomic structure analysis of crystalline oxide film on ZrB <sub>2</sub> (0001) by two-dimensional circularly-polarized-light photoelectron diffraction	
学会等名	発表年月日	発表場所	
Symposium on Surface and Nano Science 2014	2014年01月15日～2014年01月18日	New Furano Prince Hotel, 北海道富良野市	

発表者名		発表標題	
松井文彦, 大田拓也, 西川弘晃, 藤田将喜, 後藤謙太郎, 前島尚行, 松井公佑, 松下智裕, 大門寛		3d 金属のLMM Auger 電子回折の円二色性	
学会等名	発表年月日	発表場所	
第27回日本放射光学会年会 放射光科学合同シンポジウム	2014年01月11日～2014年01月13日	広島国際会議場、広島県広島市	

発表者名	発表標題	
松井公佑, 松井文彦, 前島尚行, 松下智裕, 松下智裕, 有賀寛子, 朝倉清高, 大門寛	光電子回折によるW導入脱硫触媒Ni 2Pの原子構造及び触媒特性評価	
学会等名	発表年月日	発表場所
第9回顕微ナノ材料科学研究会 放射光表面科学研究会合同シンポジウム	2013年12月26日 ~ 2013年12月27日	東北大学片平キャンパスさくらホール、宮城県仙台市

発表者名	発表標題	
堀江 理恵, 松井 文彦, 滝沢 優, 相澤 俊, 大谷 茂樹, 難波 秀利, 大門 寛	直線偏光2次元光電子分光法によるZrB <sub>2</sub> (0001)価電子帯の原子軌道解析	
学会等名	発表年月日	発表場所
第9回 国内ホウ素・ホウ化物研究会	2013年12月14日 ~ 2013年12月14日	物質・材料研究機構、茨城県つくば市

発表者名	発表標題	
R. Horie, F. Matsui, M. Takizawa, S. Otani, T. Aizawa, H. Namba, H. Daimon	Valence-Band Atomic-Orbital Analysis of Transition-metal diboride by Two-Dimensional Photoelectron Spectroscopy	
学会等名	発表年月日	発表場所
9th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '13	2013年12月02日 ~ 2013年12月06日	Sheraton Kona, Hawaii, USA

発表者名	発表標題	
滝沢優, 安松谷太一, 難波秀利, 松井文彦, 大門寛	放射光2次元光電子分光によるNi(755)ステップ端およびテラス上に形成された低次元Ni-O表面錯体の電子状態研究	
学会等名	発表年月日	発表場所
関西薄膜・表面物理セミナー	2013年11月30日 ~ 2013年12月01日	グリーンビレッジ交野、大阪府交野市

発表者名	発表標題	
大田拓也、松井文彦、藤田將喜、前島尚行、松井公佑、松下智裕、大門寛	Ni薄膜のAuger電子回折における円二色性	
学会等名	発表年月日	発表場所
関西薄膜・表面物理セミナー	2013年11月30日～2013年12月01日	グリーンビレッジ交野、大阪府交野市

発表者名	発表標題	
堀江理恵、松井文彦、滝沢優、相澤俊、大谷茂樹、難波秀利、大門寛	遷移金属二ホウ化物の価電子帯直線偏光2次元光電子分光	
学会等名	発表年月日	発表場所
2013年真空・表面科学合同講演会	2013年11月26日～2013年11月28日	つくば国際会議場、茨城県つくば市

発表者名	発表標題	
H. Nishikawa, F. Matsui, N. Maejima, H. Matsui, T. Matsushita, H. Daimon	Element Selective Stereophotograph of InSb (001) Surface	
学会等名	発表年月日	発表場所
ACSIN-12	2013年11月04日～2013年11月08日	つくば国際会議場、茨城県つくば市

発表者名	発表標題	
T. Ohta, F. Matsui, M. Fujita, N. Maejima, H. Matsui, T. Matsushita, H. Daimon	"Elongation" of Ni LMM Auger Electron Mean Free Path at Resonant Emission	
学会等名	発表年月日	発表場所
ACSIN-12	2013年11月04日～2013年11月08日	つくば国際会議場、茨城県つくば市

発表者名	発表標題	
F. Matsui, H. Matsui, R. Ishii, M. Morita, T. Matsushita, S. Koh, H. Matsuda, H. Daimon	Photoelectron Diffractions of Exfoliated and Epitaxially Grown Graphenes and Their Subsurface Structures	
学会等名	発表年月日	発表場所
ACSIN-12	2013年11月04日～2013年11月08日	つくば国際会議場、茨城県つくば市

発表者名	発表標題	
N. Maejima, F. Matsui, M. Horita, H. Matsui, T. Ota, R. Ishi, M. Fujita, K. Yasuda, T. Matsushita, H. Daimon	Defect Structure Characterization of AlN/SiC(11-20) Interface by Two Dimensional Photoelectron Diffraction Spectroscopy	
学会等名	発表年月日	発表場所
ICSCRM 2013	2013年09月29日～2013年10月04日	Phoenix Seagaia Resort、宮崎県宮崎市

発表者名	発表標題	
堀江理恵、松井文彦、滝沢優、相澤俊、大谷茂樹、難波秀利、大門寛	直線偏光2次元光電子分光法によるZrB <sub>2</sub> 価電子帯の原子軌道解析	
学会等名	発表年月日	発表場所
NewSUBARU/立命館SRセンター合同シンポジウム2013	2013年11月01日～2013年11月01日	京都リサーチパーク、京都府京都市

発表者名	発表標題	
大田拓也、松井文彦、藤田将喜、前島尚行、松井公佑、松下智裕、大門寛	Ni薄膜の円偏光光電子・Auger電子回折の角度分布	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会秋季大会	2013年09月25日～2013年09月28日	徳島大学常三島キャンパス、徳島県徳島市



発表者名	発表標題	
松井公佑, 松井文彦, 前島尚行, 松下智裕, 有賀寛子, 朝倉清高, 大門寛	光電子回折分光法による脱硫触媒Ni <sub>2</sub> P及び関連合金表面の原子構造・電子状態解析と触媒活性の相関	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会秋季大会	2013年09月25日～2013年09月28日	徳島大学常三島キャンパス、徳島県徳島市

発表者名	発表標題	
前島尚行, 松井文彦, 堀田昌宏, 松井公佑, 大田拓也, 石井良, 藤田将喜, 安田馨, 松下智裕, 大門寛	光電子回折分光法によるAlN/SiC(11-20)界面の原子構造解析	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会秋季大会	2013年09月25日～2013年09月28日	徳島大学常三島キャンパス、徳島県徳島市

発表者名	発表標題	
北川哲, 松井文彦, 松下智裕, 松井公佑, 前島尚行, 大門寛	Auger 電子収量法による Sr <sub>2</sub> FeMoO <sub>6</sub> 単結晶のFe のL 端X 線吸収分光	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会秋季大会	2013年09月25日～2013年09月28日	徳島大学常三島キャンパス、徳島県徳島市

発表者名	発表標題	
松井文彦, 大田拓也, 藤田将喜, 前島尚行, 松井公佑, 松下智裕, 大門寛	Cu LMM共鳴Auger電子回折の円二色性の発現機構	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会秋季大会	2013年09月25日～2013年09月28日	徳島大学常三島キャンパス、徳島県徳島市

発表者名	発表標題	
R. Horie, F. Matsui, N. Maejima, H. Matsui, T. Matsushita, S. Otani, T. Aizawa, H. Daimon	Atomic structure analysis of heteroepitaxially-grown oxide film on ZrB <sub>2</sub> by two-dimensional circularly-polarized-light photoelectron diffraction	
学会等名	発表年月日	発表場所
2013 JSAP-MRS Joint Symposium	2013年09月16日 ~ 2013年09月20日	同志社大学、京都府京田辺市

発表者名	発表標題	
M. Takizawa, Y. Fujioka, H. Namba, F. Matsui, H. Daimon	Atomic orbital character of Cu(111) and Ni(111) surfaces studied by two-dimensional photoelectron spectroscopy	
学会等名	発表年月日	発表場所
IVC-19/ICN+T 2013	2013年09月09日 ~ 2013年09月13日	Palais des Congrès, Paris, France

発表者名	発表標題	
M. Takizawa, Y. Fujioka, H. Namba, F. Matsui, H. Daimon	Atomic orbital character of the electronic states on Cu(111) and Ni(111) surfaces studied by two-dimensional photoelectron spectroscopy	
学会等名	発表年月日	発表場所
LPBMS2013	2013年08月29日 ~ 2013年08月31日	つくば国際会議場、茨城県つくば市

〔図書〕計(1)件

著者名	出版社		
日本表面科学会 松井文彦	共立出版		
書名	発行年	総ページ数	
問題と解説で学ぶ表面科学	2013	193	

## 14.研究成果による産業財産権の出願・取得状況

(出願) 計( 0 )件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	出願年月日	国内・外国の別

(取得) 計( 0 )件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	取得年月日	国内・外国の別
				出願年月日	

## 15.備考

奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科グリーンナノシステム研究室  
<http://mswebs.naist.jp/courses/459/>  
 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科グリーンナノシステム研究室  
<http://mswebs.naist.jp/LABs/matui/index-j.html>