

産業利用Ⅲビームライン（BL46XU）における 先端デバイス評価事例の紹介

（公財）高輝度光科学研究センター（JASRI）

産業利用推進室 産業利用支援グループ

材料構造解析チーム、BL46XU担当

研究員 小金澤 智之（XRD）

安野 聡（HAXPES）

発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要（XRD・HAXPES）

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGaN界面反応層の評価

4、課題募集案内



Japan Synchrotron Radiation Research Institute

公益財団法人 高輝度光科学研究センター



- 設立年月日 1990年12月
(2012年4月1日に財団法人から公益財団法人へ移行)

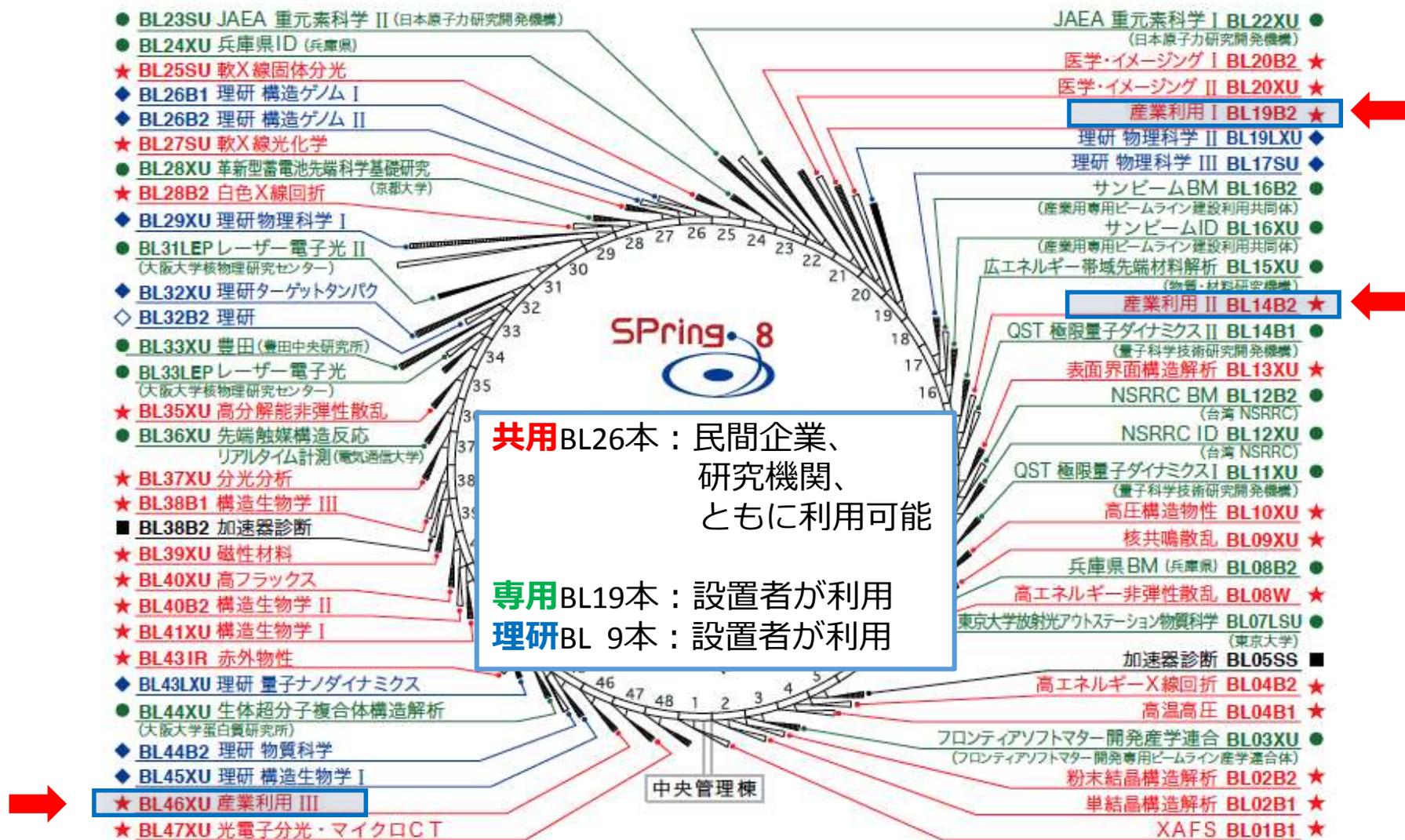
■ 目的

国内外に広く開かれた研究機関として、高輝度放射光をはじめとする量子ビームの技術及びその利用に係る科学技術に関する研究開発を行うとともに、大型放射光施設「SPring-8」などの先端の研究施設等を管理運営し、その利用を促進すること等により、当該分野に関する科学技術の進歩と産業の振興を図り、もって人類の持続的発展及び福祉の増進に寄与することを目的とする。

共用ビームラインにおける

- ① 利用に対する支援 ② 利用者の選定 ③ 施設の運転・保守 ④ 技術開発

SPring-8 ビームラインマップ



JASRI産業利用推進室が運営するBL

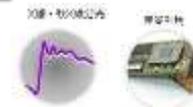
Beamline	B/U	Mono.	E range	techniques
BL14B2	偏向電磁石	水冷二結晶分光器	3.8-72 keV	①XAFS
BL19B2	偏向電磁石	水冷二結晶分光器	5-72 keV	①X線イメージング ②粉末X線回折計 多軸X線回折計 ③小角・超小角散乱
BL46XU	アンジュレーター	液体窒素冷却二結晶分光器	6-35 keV	①多軸X線回折計 ②硬X線光電子分光

産業界からニーズの高い硬X線領域の測定手法を整備

BL14B2 (産業利用II)

BL14B2 (3.8 ~ 72 keV)

自動化されたXAFS計測システムによる効率的な実験を特徴とする



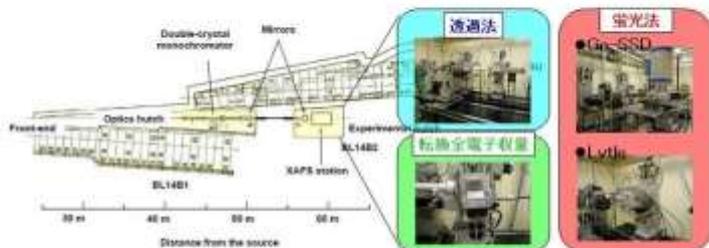
ビームラインの特徴

BL14B2は、偏光電磁石を光源としたXAFS測定に特化したビームラインです。測定装置は実験条件の切り替えの自動化、及び試料交換のロボット化による自動測定技術による高能率な実験が可能です。また、この測定の高効率化により測定代行も実施しており、産業界の製品開発研究における材料探索などにフレキシブルに対応可能な利用形態も実現しています。

主要実験技術

1. XAFS

光源: 偏向電磁石



自動測定システム

- 自動光学機器調整
- 結晶面の選択: Si(111) or Si(311)
- 吸収端の選択: 周期律表から選択



反応ガス雰囲気下in-situ測定用設備



ガス供給排気装置および除害装置

使用可能ガス種

- H₂, 炭化水素, O₂
- 毒性ガス(CO, NOx, H₂S, SO₂, (CH₃)₂S, NH₃)
- その他、希薄ガス種に随って対策下さい

※ BLIに常設(H₂(G2), O₂(G2), 10% CO+He, 10% NO+He)

● 自動測定

- 試料交換: 試料自動搬送装置: 試料数80個, 交換時間30-50秒
- 測定方法: 透過法、蛍光法(45度配置)

試料自動搬送装置(Sample Catcher)

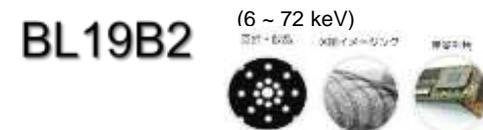
Auto XAFS:

XAFS測定の手続きがすべて自動化



BL19B2 (産業利用I)

3つの実験ハッチで提供される多様な放射光利用技術を特徴とする



ビームラインの特徴

BL19B2は、偏光電磁石を光源とする全長約120mの中尺ビームラインで、3つの実験ハッチを持ち、4種類)の実験装置を用意することによって、産業界の多様な分野に対応できることを特徴としております。その実験技術は測定の自動化等、高効率化を進めることによって実現した測定代行などコストパフォーマンスの高い利用から、極小角X線散乱のようにここでしか得られない情報が得られる特徴的な実験技術の利用まで、多様なニーズにもこたえられるような利用技術開発を行っています。

光源：偏光電磁石

主要実験技術

1. 多軸X線回折計
2. 粉末X線回折
3. 小角・極小角X線散乱
4. X線イメージング

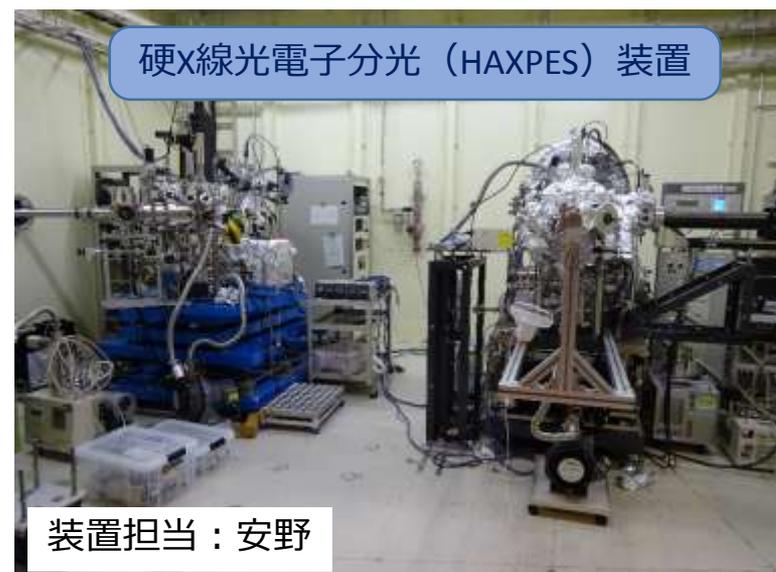


BL46XU (産業利用Ⅲ) の概要

第1 実験ハッチ



第2 実験ハッチ



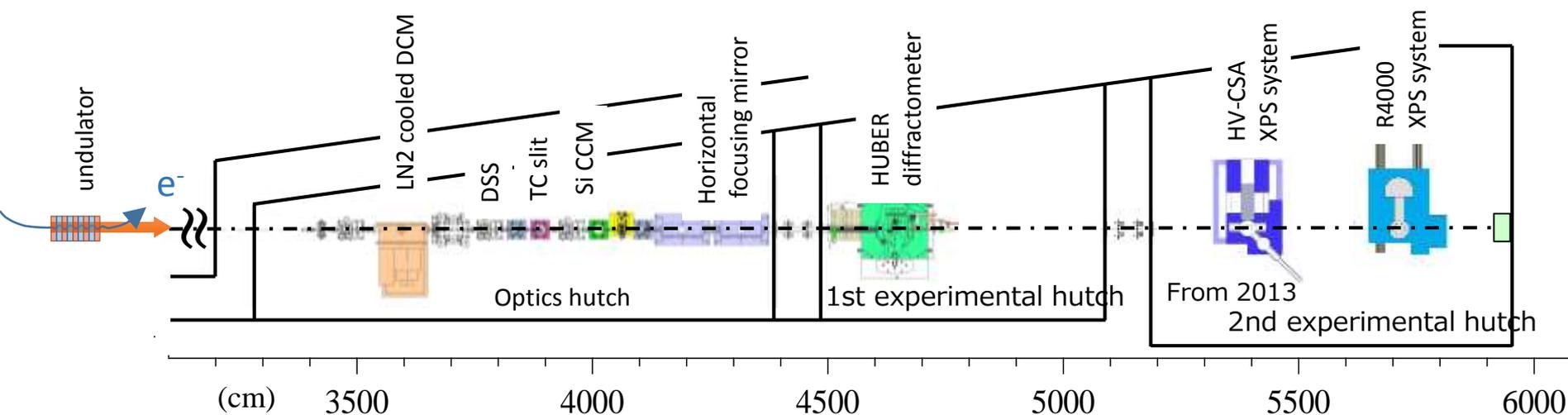
利用可能X線エネルギー : 6-35 keV

ターゲットユーザー層 : 産業界・産学連携

提供する分析手法 :

- 1、 XRD
- 2、 HAXPES
- 3、 イメージング・小角散乱

Overview of BL46XU



ID specifications

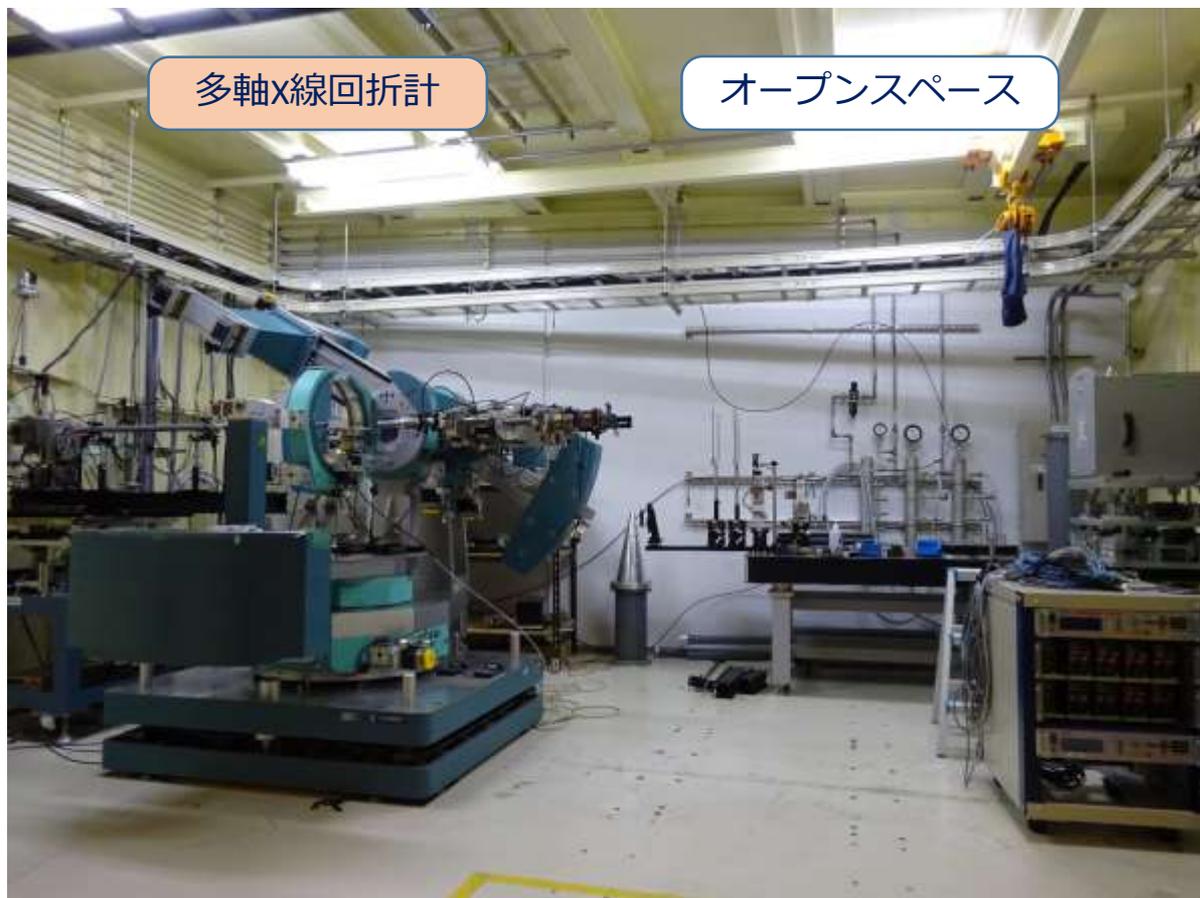
Type	SP8 standard in-vacuum undulator
Period length	32 mm
Number of Period	140
Minimum gap	9.6mm
Maximum gap	50mm

Beamline specification

Monochromator	liquid-N2 cooled DCM Si 111
Mirrors	Rhodium coating horizontal focusing
Photon energy range	6-35 keV
Flux at 12KeV	$\sim 10^{13}$ ph/s
Energy resolution $\Delta E/E$	10^{-4}
Beam size at 1 st hutch	0.5mm(V) × 0.2mm(H)

多軸X線回折計 (HUBER回折計)

第1実験ハッチ



多軸X線回折計

オープンスペース

多軸X線回折計：実験条件の選択

- **X線エネルギー** : 6-35 keV 72KeV@三倍波
- **X線ビームサイズ** : 3 μm – 1 mm
- **X線ビーム強度** : 最大 10^{13} photons/sec アッテネータで減衰

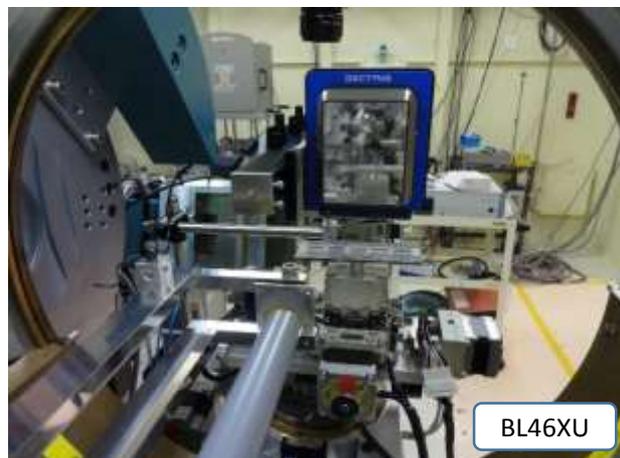
- **試料周辺**
 - 位置調整用自動ステージ：xyz、スイベル、・・・
 - 試料環境 : 大気、He雰囲気、加熱、・・・

- **検出器** : 角度分解能・観測エリア・測定時間
 - 0次元検出器 (+スリット光学系)
 - 1次元検出器
 - 2次元検出器

幅広い測定ニーズに応えられるように測定環境整備

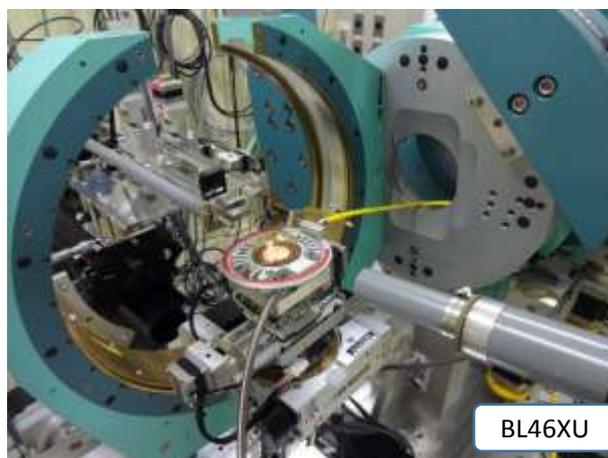
ご相談いただき、スタッフが最適な条件を提案

多軸X線回折計：試料周辺



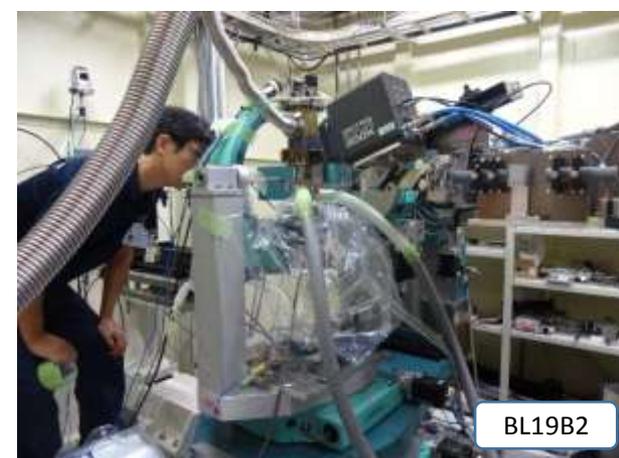
BL46XU

大気中、試料 5 個



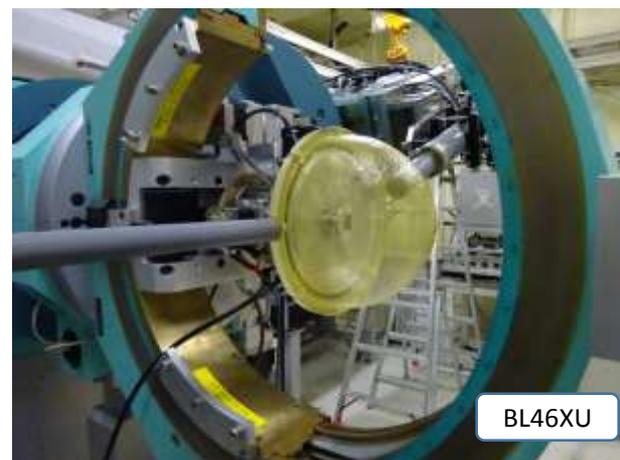
BL46XU

加熱、anton parr DHS1100



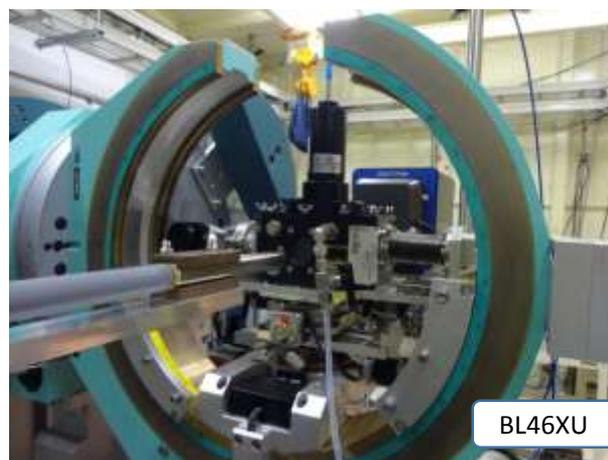
BL19B2

真空蒸着、基板冷却、TFT測定
 岩手大学吉本先生



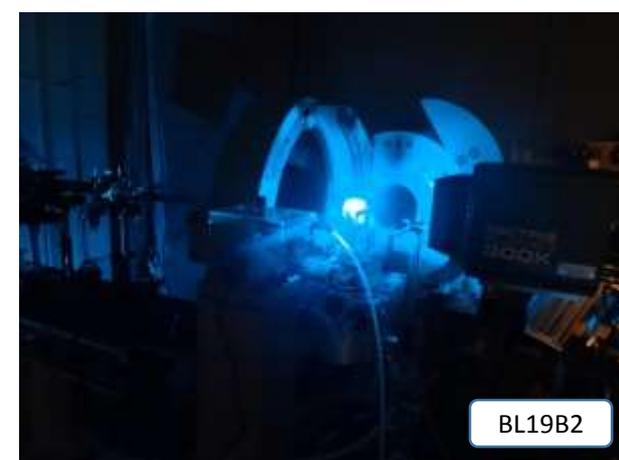
BL46XU

カプトンドーム He、N₂雰囲気



BL46XU

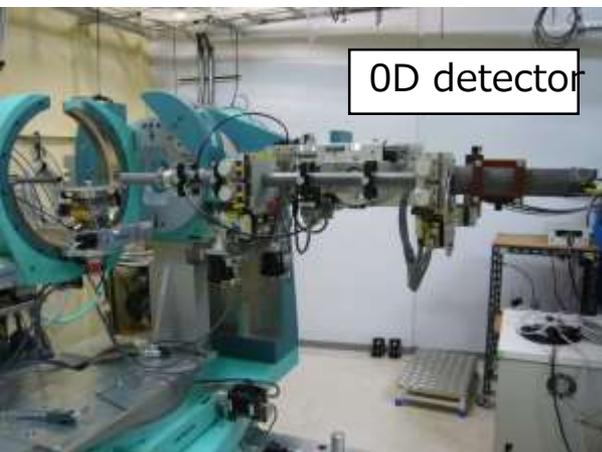
溶媒雰囲気制御 + UV-Vis
 産総研宮寺先生



BL19B2

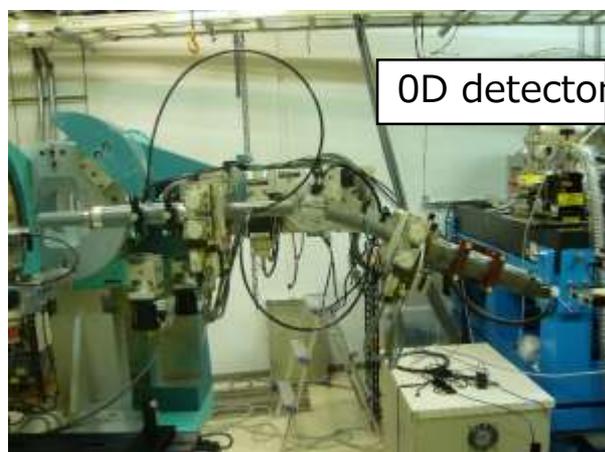
光照射
 NAIST鈴木先生

多軸X線回折計：検出器



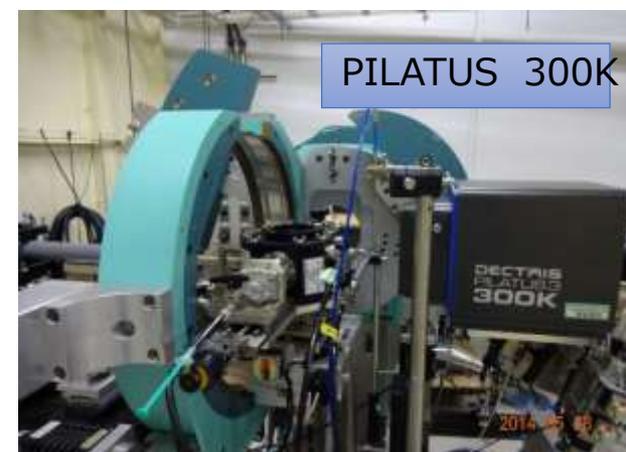
0D detector

double slits + 0D detector



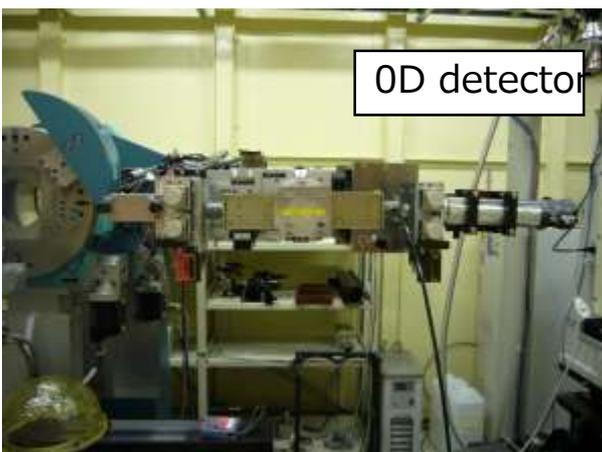
0D detector

crystal analyzer+ 0D detector



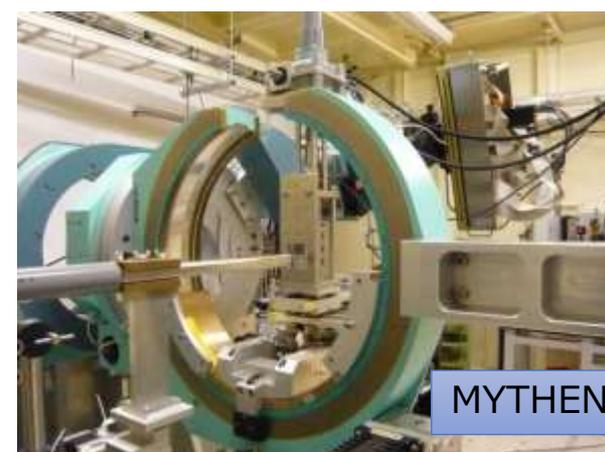
PILATUS 300K

2D detector (PILATUS 300K)



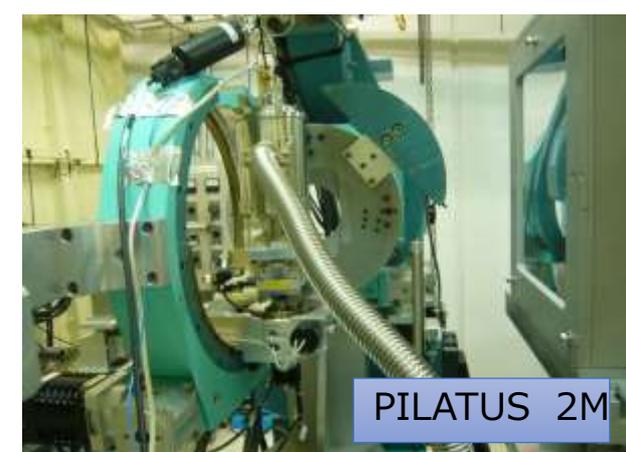
0D detector

sollar slits + 0D detector



MYTHEN

1D detector(6 modules of MYTEHN)



PILATUS 2M

2D detector (PILATUS 2M)

装置セットアップはスタッフが実施

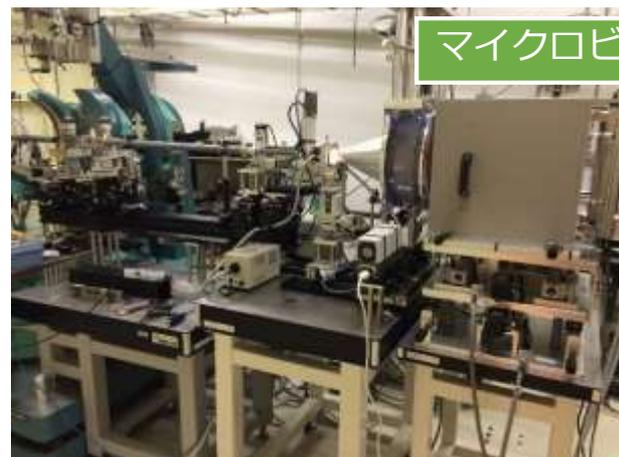
オープンスペースの利用



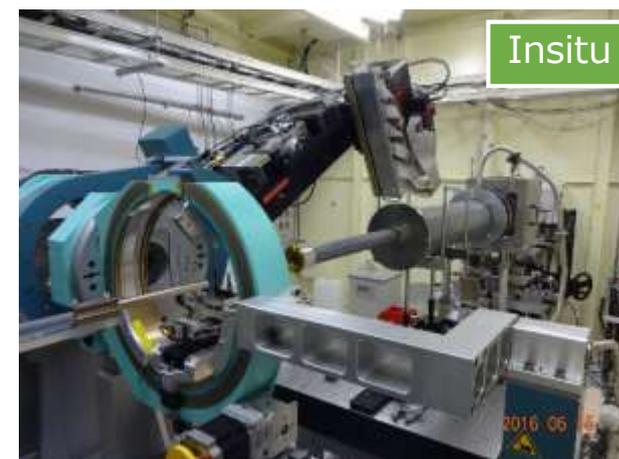
X線イメージング



GISAXS



マイクロビームXRD

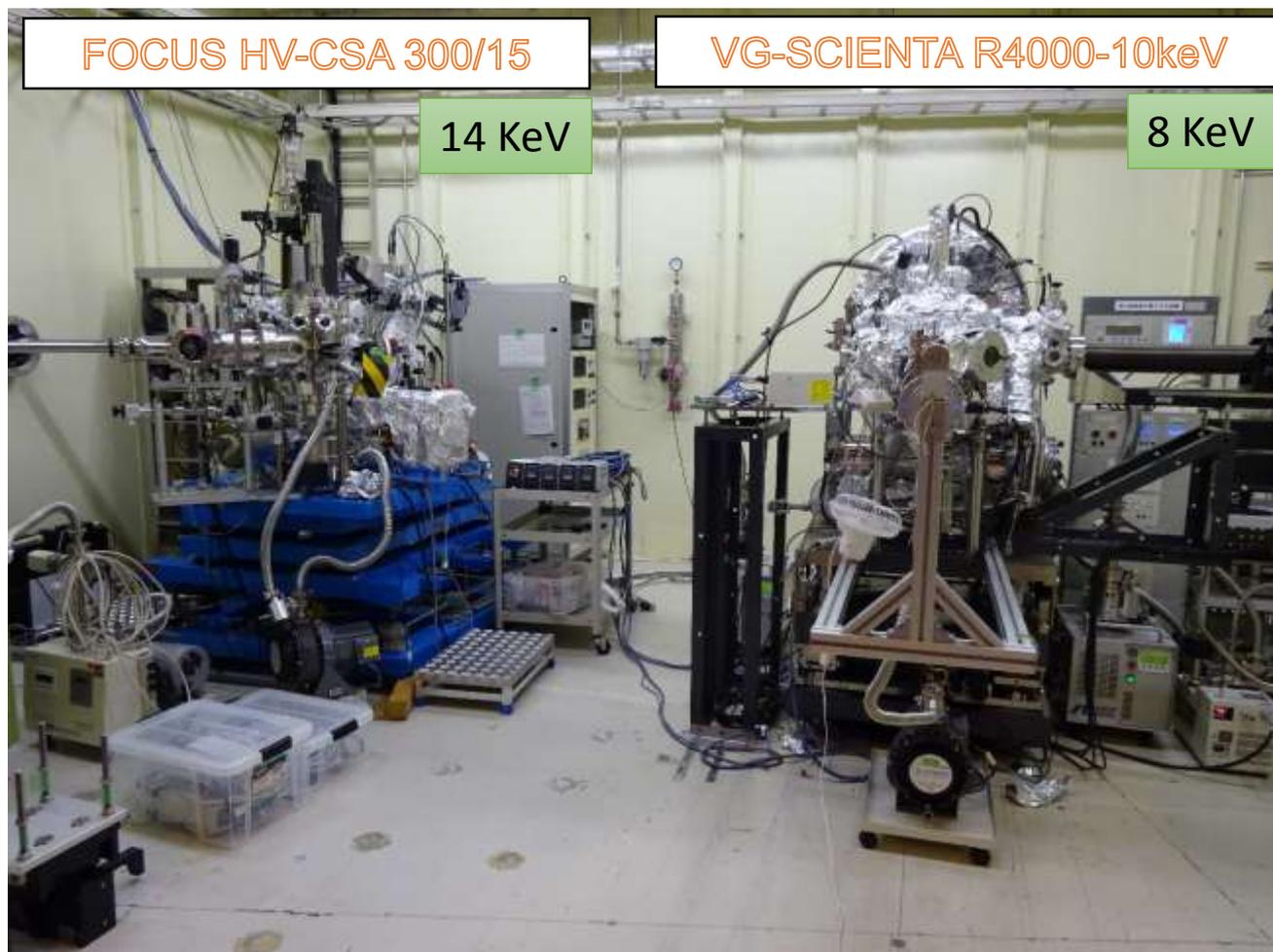


In situ XRD&SAXS

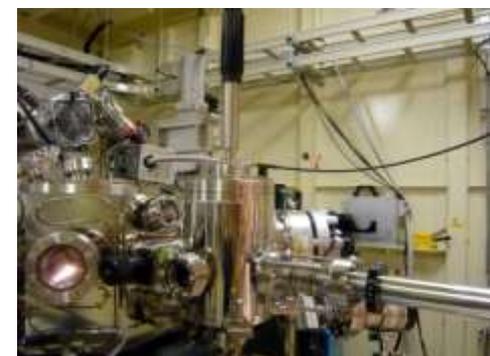
装置セットアップはスタッフが実施
 ユーザー持込装置の設置可能

硬X線光電子分光 (HAXPES)

第2 実験ハッチ



Scientia R4000



Non-air-exposure sample transfer system

Sample bank

Sample can be stored in the sub chamber.

- 大気非暴露
- 電圧印加
- x線源 (AlK α)
- スパッタ銃
- 試料加熱

Manipulator (4-axis)

X-ray

Vertical focusing mirror

Neutralizer

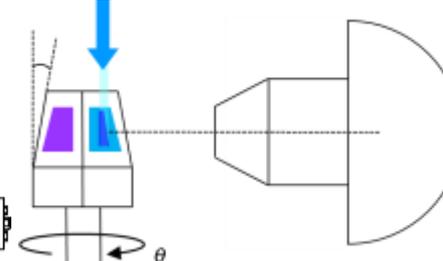
Measurement chamber

Sample holder

Truncated hexagonal pyramid type



X-ray



Measurement geometry

VG Scientia R4000 analyzer (Hemispherical)

Sample holder for bias applied HAXPES

Electronic state of a device in operation can be evaluated.

発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要 (XRD・HAXPES)

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価

4、課題募集案内

多軸X線回折計

Dectris社HPより
<https://www.dectris.com/>

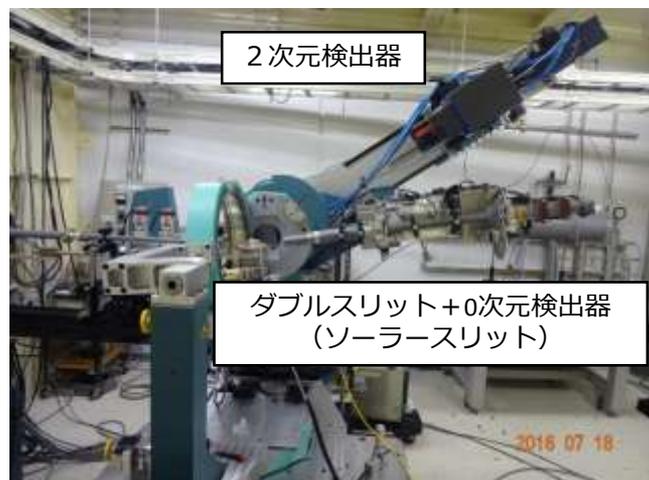


X線回折・散乱

- ・ 高輝度X線・高エネルギーX線
- ・ 2, 1, 0次元検出器
- ・ マイクロビーム

X線2次元検出器PILATUS

オンライン、低ノイズ、広ダイナミックレンジ、高速
 ピクセルサイズが大きい (172 μm)、
 ギャップがある、高価



PILATUS 100K, 300K, 2M
 MYTHEN(6連装)

BL46XU保有

多軸X線回折計：ダブル検出器軸

- ・ 0次元検出器 + スリット光学系
- ・ 1 or 2次元検出器

多軸X線回折計：3次元逆格子空間測定

2次元逆格子空間測定

- ・ 1軸配向膜

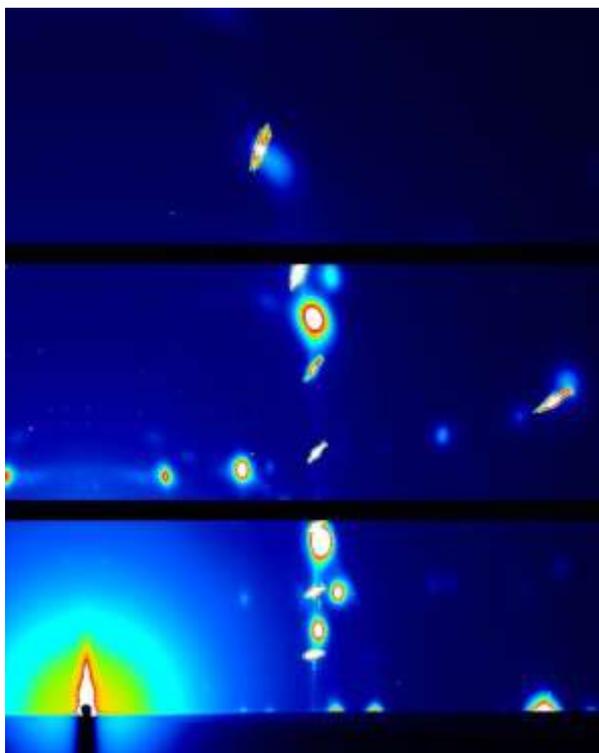
試料回転



3次元逆格子空間測定

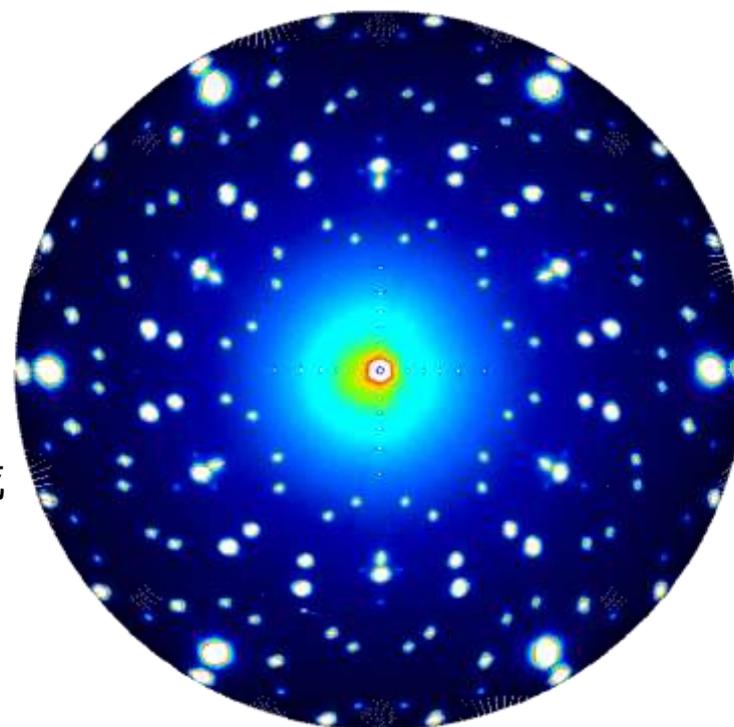
- ・ ヘテロエピタキシャル薄膜
- ・ 3軸配向膜

Ti (10 nm)/SiC 600 °C RTA処理 $1.0 \times 10^{-3} Pa$



生データ：測定時間15分

逆空間再構成



基板法線方向から見た断面

HAXPESの特徴

HAXPESのメリット(1): 検出深度が深い

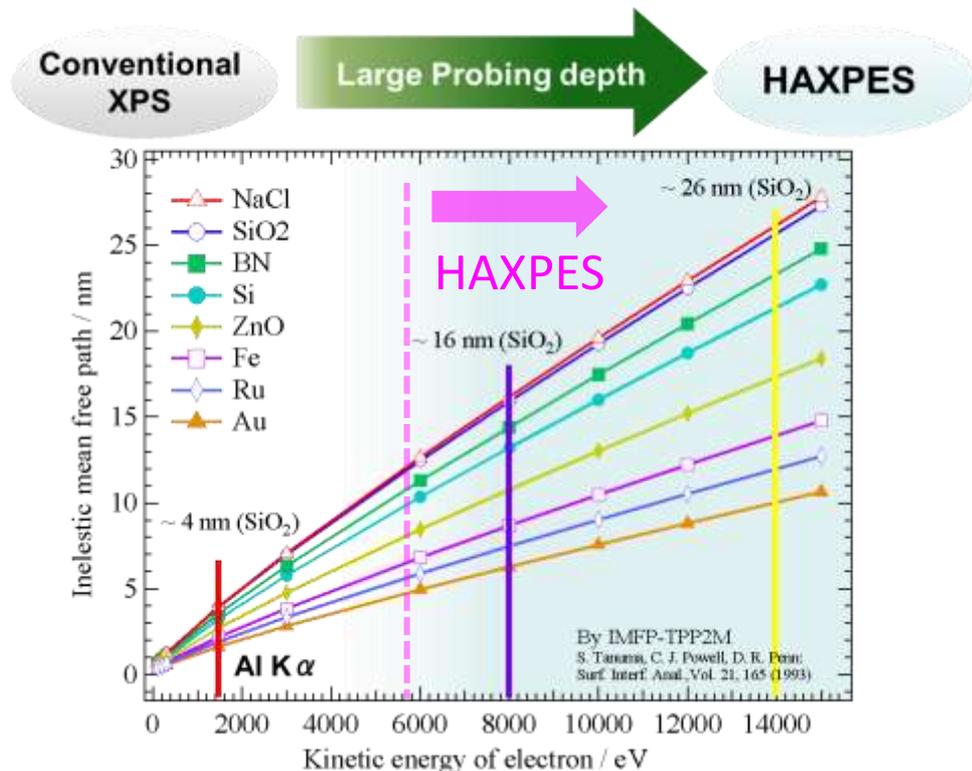
ラボに比べてX線励起エネルギー大
 (6~14 keV)

光電子の運動エネルギー大
 ($\because E_k = h\nu - E_B - \Phi_s$)

試料内における
 光電子の非弾性散乱の影響小
 非弾性自由行程 (IMFP) 大

検出深度大(ラボの数倍)

- Bulk sensitive (surface insensitive)
- Low surface/contaminant effects (surface preparation is less important)
- Analysis of buried interfaces
- Depth profiling by TOA dep.



HAXPESの特徴

HAXPESのメリット(2)：測定可能なピークが多い

ラボXPS

- 1.5 keV以下ではピークが密集
→他のピークと重畳しやすい
- s軌道以外はピーク分裂で解析困難

HAXPES

- 共存元素の内殻やオーজে, プラズモンロス等のピークの重畳を回避できる
- ピーク分裂がなく解析が容易な深い1s準位を使える (Al 1s: 1.65 keV, Si 1s: 1.84 keV)

Table. Binding energy for photoelectron (eV)

Element	1s	2s	2p _{1/2}	2p _{3/2}	3s	3p _{1/2}	3p _{3/2}	3d _{3/2}	3d _{5/2}	4s	4p _{1/2}	4p _{3/2}	4d _{3/2}	4d _{5/2}	
1 H	14														
2 He	25														
3 Li	55														
4 Be	112														
5 B	188														
6 C	284														
7 N	410		37												
8 O	543		42												
9 F	697														
10 Ne	870	49	22	22											
11 Na	1071	64	31	31											
12 Mg	1303	89	50	50											
13 Al	1560	118	73	73											
14 Si	1839	150	100	99											
15 P	2146	189	136	135											
16 S	2472	231	164	163											
17 Cl	2822	270	202	200											
18 Ar	3206	326	251	248											
19 K	3608	379	297	295	29	16	16								
20 Ca	4039	438	350	346	44	25	25								
21 Sc	4492	498	404	399	51	28	28								
22 Ti	4966	561	460	454	59	33	33								
23 V	5465	627	520	512	66	37	37								
24 Cr	5989	696	584	574	74	42	42								
25 Mn	6539	769	650	639	82	47	47								
26 Fe	7112	845	720	707	91	53	53								
27 Co	7709	925	793	778	101	59	60								
28 Ni	8333	1009	870	853	111	66	66								
29 Cu	8979	1097	952	933	123	73	75								
30 Zn	9659	1196	1045	1022	140	91	89	10	10						
31 Ga	10367	1299	1143	1116	160	104	100	19	19						
32 Ge	11103	1415	1248	1217	180	125	121	30	29						
33 As	11867	1527	1359	1324	205	146	141	42	42						
34 Se	12658	1652	1474	1434	230	167	161	56	55						
35 Br	13474	1782	1596	1550	257	189	182	70	69						
36 Kr	14326	1921	1731	1678	293	222	214	95	94	28	14	14			
37 Rb	15200	2065	1864	1804	327	249	239	113	112	31	16	15			
38 Sr	16105	2216	2007	1940	359	280	270	136	134	39	21	20			
39 Y	17038	2373	2156	2080	392	311	299	158	156	44	24	23			
40 Zr	17998	2532	2307	2223	430	344	330	181	179	51	29	27			
41 Nb	18986	2698	2465	2371	467	376	361	205	202	56	33	31			
42 Mo	20000	2866	2625	2520	506	412	394	231	228	63	38	36			
43 Tc	21044	3043	2793	2677	544	448	418	258	254	70	42	40			
44 Ru	22117	3224	2967	2838	586	484	461	284	280	75	46	43			
45 Rh	23220	3412	3146	3004	628	521	497	312	307	81	51	47			
46 Pd	24350	3604	3330	3173	672	560	532	341	335	87	56	51			
47 Ag	25514	3806	3524	3351	719	604	573	374	368	97	64	58			
48 Cd	26711	4018	3727	3538	772	653	618	412	405	110	74	68	12	11	
49 In	27940	4238	3958	3730	827	703	665	451	444	123	74	74	18	17	
50 Sn	29200	4465	4156	3929	885	757	715	493	485	137	84	84	25	24	
51 Sb	30491	4698	4380	4132	946	813	766	538	528	153	96	96	33	32	
52 Te	31814	4939	4612	4341	1006	871	820	583	573	169	103	103	42	40	
53 I	33169	5188	4852	4557	1072	931	875	631	619	186	123	123	51	49	
54 Xe	34651	5453	5107	4786	1149	1002	941	689	676	213	147	146	70	68	
55 Cs	35985	5714	5359	5012	1211	1071	1003	741	727	232	172	161	80	78	
56 Ba	37441	5989	5624	5247	1293	1137	1063	796	781	254	192	179	93	90	
57 La	38925	6266	5891	5483	1362	1209	1128	853	836	275	206	196	105	103	
58 Ce	40443	6549	6164	5723	1436	1274	1187	902	884	291	223	207	109	107	
59 Pr	41991	6825	6412	5954	1511	1337	1242	949	929	305	236	219	115	115	
60 Nd	43569	7126	6722	6208	1575	1403	1297	1003	980	319	243	225	121	121	
61 Pm	45184	7428	7013	6459	-	1471	1357	1052	1027	-	242	242	120	120	
62 Sm	46834	7737	7312	6716	1723	1541	1420	1111	1083	347	266	247	129	129	
63 Eu	48519	8052	7617	6977	1800	1614	1481	1159	1128	360	284	257	133	128	
64 Gd	50239	8376	7930	7243	1881	1698	1564	1222	1193	379	296	271	143	143	
65 Dy	51966	8708	8252	7514	1968	1788	1611	1277	1241	396	322	284	151	151	
66 Ho	53789	9046	8581	7790	2047	1842	1676	1333	1293	414	334	293	154	154	
67 Er	55618	9394	8918	8071	2128	1923	1741	1392	1351	432	344	308	160	160	
68 Er	57486	9751	9264	8358	2207	2006	1812	1453	1409	450	366	320	168	168	
69 Tm	59390	10116	9617	8648	2307	2090	1895	1515	1469	471	386	333	176	176	
70 Yb	61332	10484	9978	8844	2398	2173	1980	1599	1528	481	389	340	181	182	
71 Lu	63314	10870	10349	9244	2491	2264	2024	1639	1589	507	412	359	206	196	
72 Hf	65351	11271	10739	9561	2601	2365	2108	1716	1662	538	438	381	220	212	
					9881	2708	2469	2194	1793	1735	563	463	401	238	226
					10207	2820	2575	2281	1872	1809	594	489	424	256	244
					10535	2932	2682	2387	1949	1883	625	519	447	274	261
					10871	3049	2792	2457	2031	1960	658	549	471	293	279
					11215	3174	2909	2551	2116	2040	691	578	496	312	296
					11564	3296	3027	2645	2202	2122	725	609	519	332	315
					11919	3425	3148	2743	2291	2206	762	643	546	353	335
					12284	3562	3279	2847	2385	2296	802	680	577	378	359

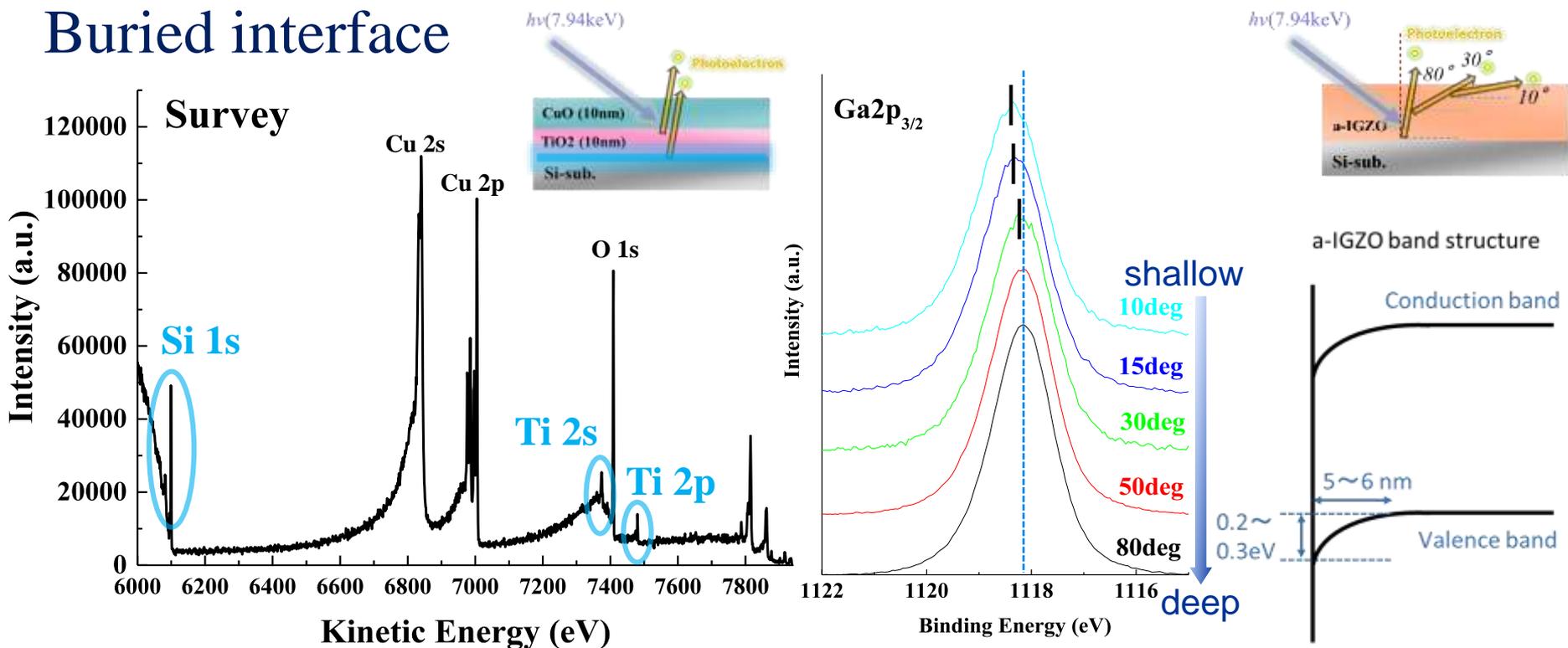
ラボXPSのAl Kα線励起で測定可能な光電子ピーク

HAXPES (8 keV) で測定可能となる

光電子ピーク

HAXPESの特徴

Buried interface



~HAXPESの特徴~

- ・検出深度が大きい→非破壊で試料深部(界面、バルク)の状態分析ができる。
- ・測定可能なピークが多い→ピーク同士の重畳の回避や解析の行いやすいピークが選択できる。

発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価

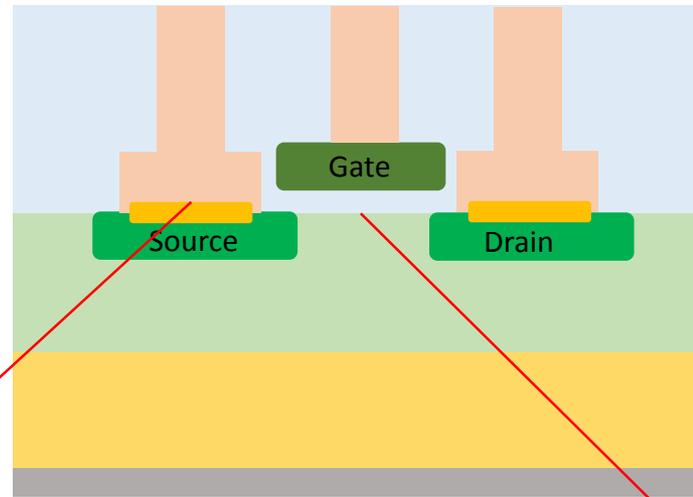
広大 黒木先生

豊田工大 岩田先生

- TFT動作時のポテンシャル分布評価

4、課題募集案内

概要



オーミックコンタクト
 界面反応層

絶縁膜

◎ Ti, Ni /SiC

◎ Al/Ti/AlGa_N/Ga_N

- HAXPES
- XRD

◎ SiO_x/SiC

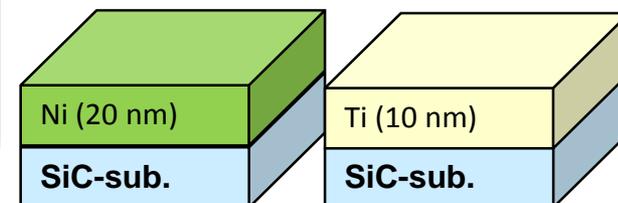
- In-situ X-ray Reflectivity(XRR)
- HAXPES

Ti, Ni /SiC : 試料

Ni(20 nm) / SiC-sub.Ti(10 nm) / SiC-sub.

4H-SiC-sub.(Si-face, n-type)

- Buffered hydrogen fluoride (BHF) Solution treatment



Deposition of Ni and Ti films
by DC sputtering

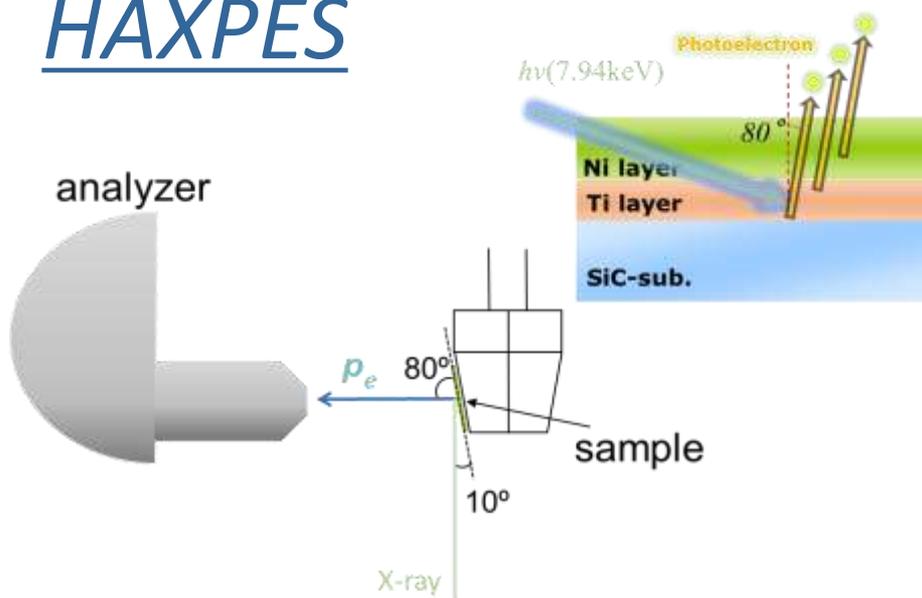
- Target: Ni, Ti
- Sputter gas: Ar
- Film thickness: 20 nm (Ni), 10 nm(Ti)

Anneal treatment

- 100~1000°C、1 min, 1×10^{-3} Pa

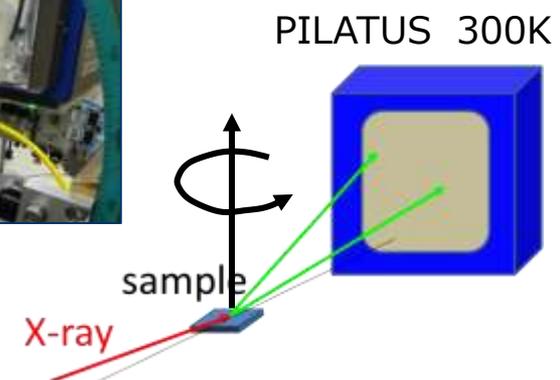
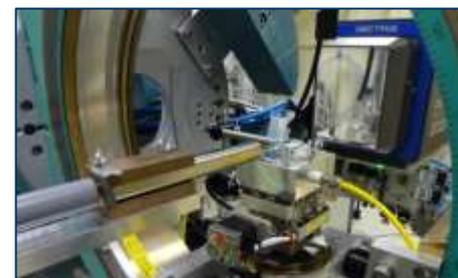
評価手法

HAXPES



XRD

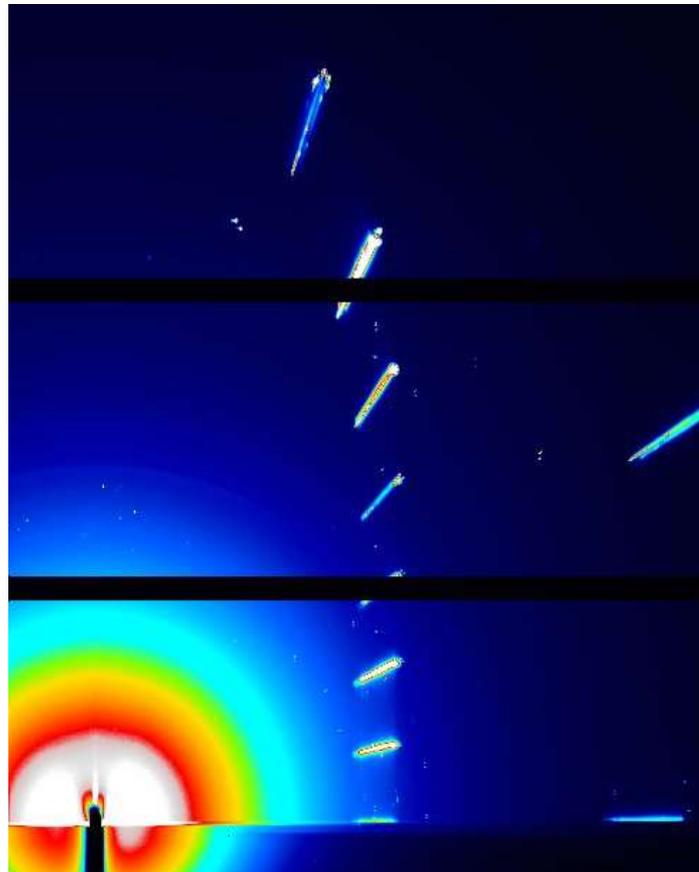
BL46XU/SPring-8



- $h\nu$: ~ 7.94 KeV undulator BL with Si(111) double crystal and Si (444) channel cut monochromator
- Analyzer: R4000
- Slit size: $0.5 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ curved
- Temperature: RT
- Pass energy: 200 eV
- Energy resolution: $\sim 235 \text{ meV}$
- Take off angle : $80^\circ, 30^\circ, 15^\circ$

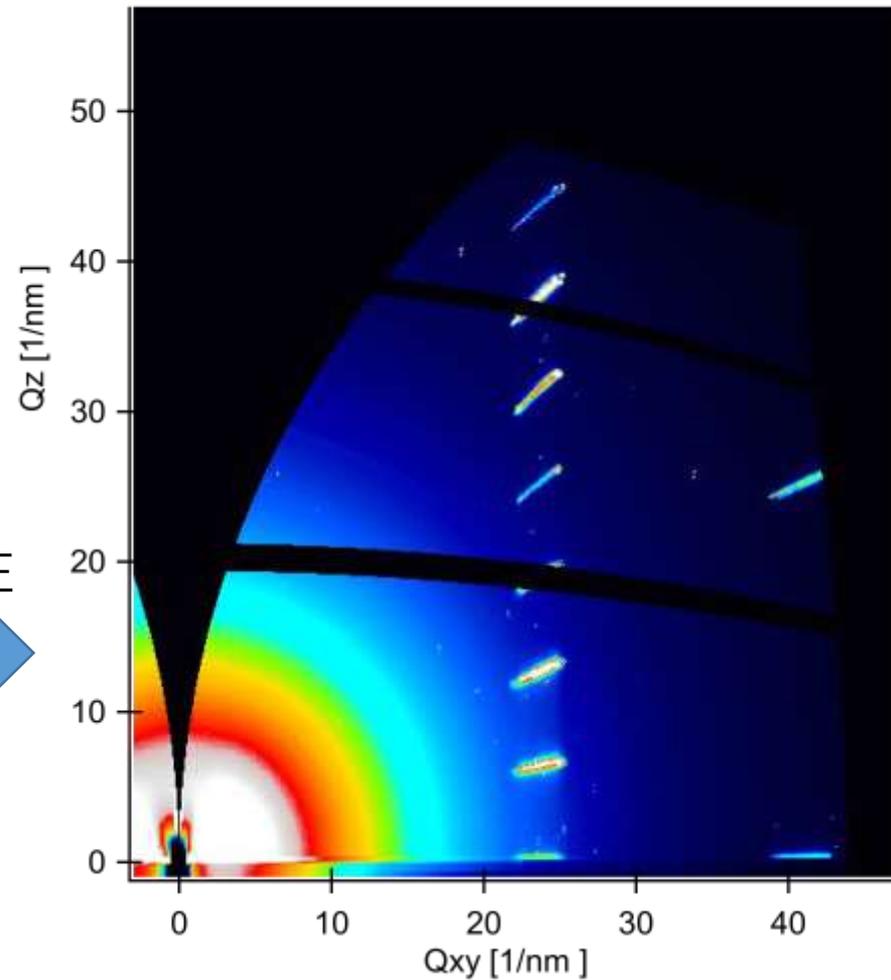
- $h\nu$: 12.398 KeV
- HUBER multi-axis diffractometer
- Analyzer: 2D detector (PILATUS 300K)
- Camera length: 80.0 mm
- Incident angle: 0.2°
- Exposure time: 0.5 sec/ 1 image
- Rotation speed : $0.4^\circ/1 \text{ sec}$
- Rotation range: $0-360^\circ$
- Number of frames: 1800

XRD結果：4H-SiC 基板



360°回転中1800枚撮影
 露光時間：0.5 sec/image
 1枚に合成

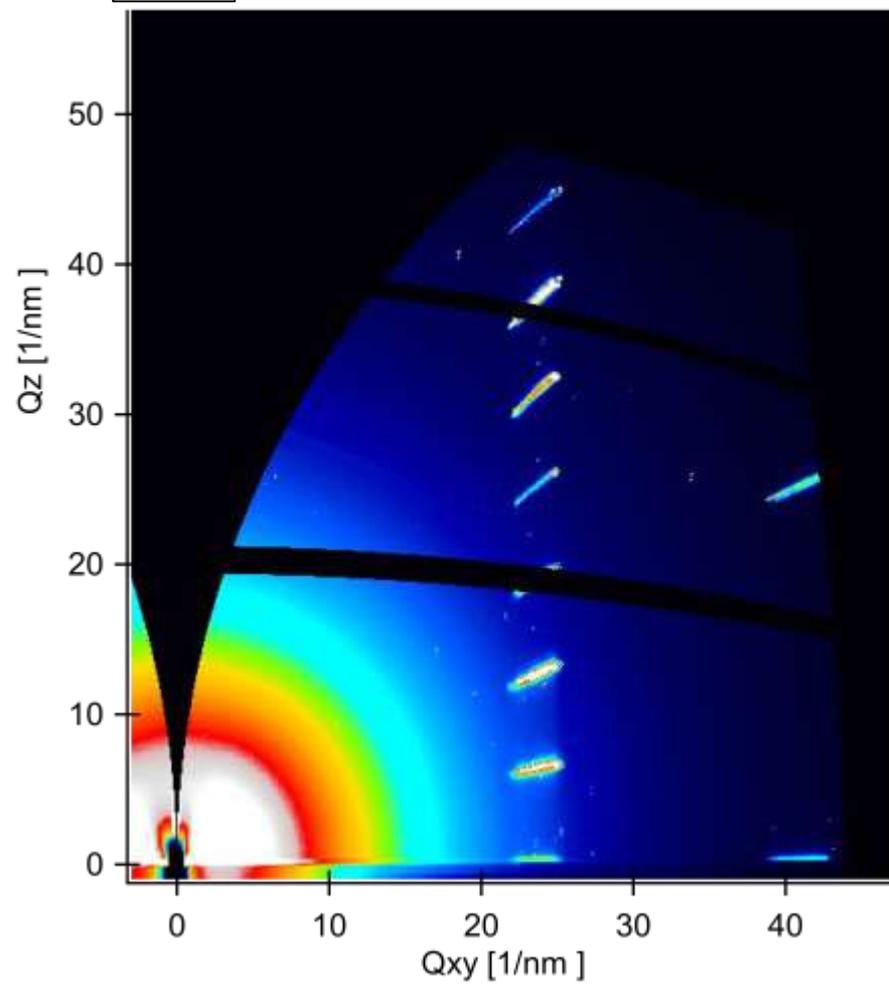
歪み補正



$$Q = \frac{4\pi \sin\theta}{\lambda} = \frac{2\pi}{d}$$

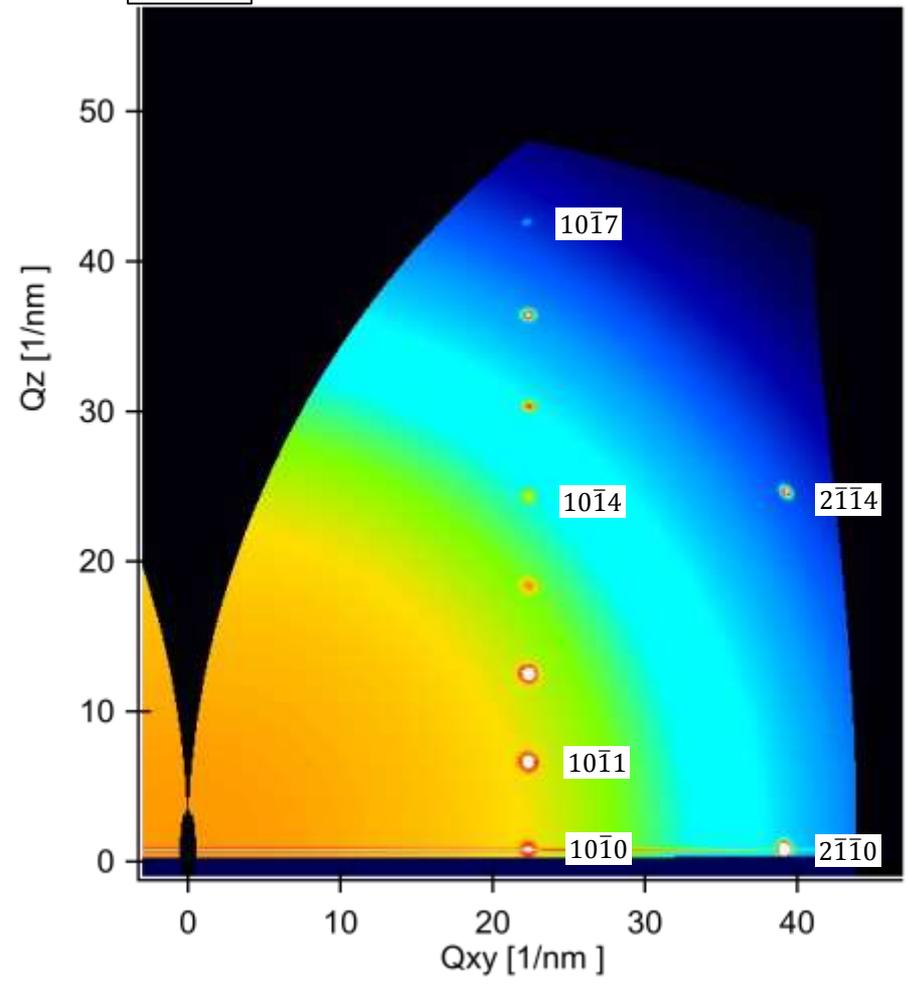
XRD結果：4H-SiC 基板

Exp.

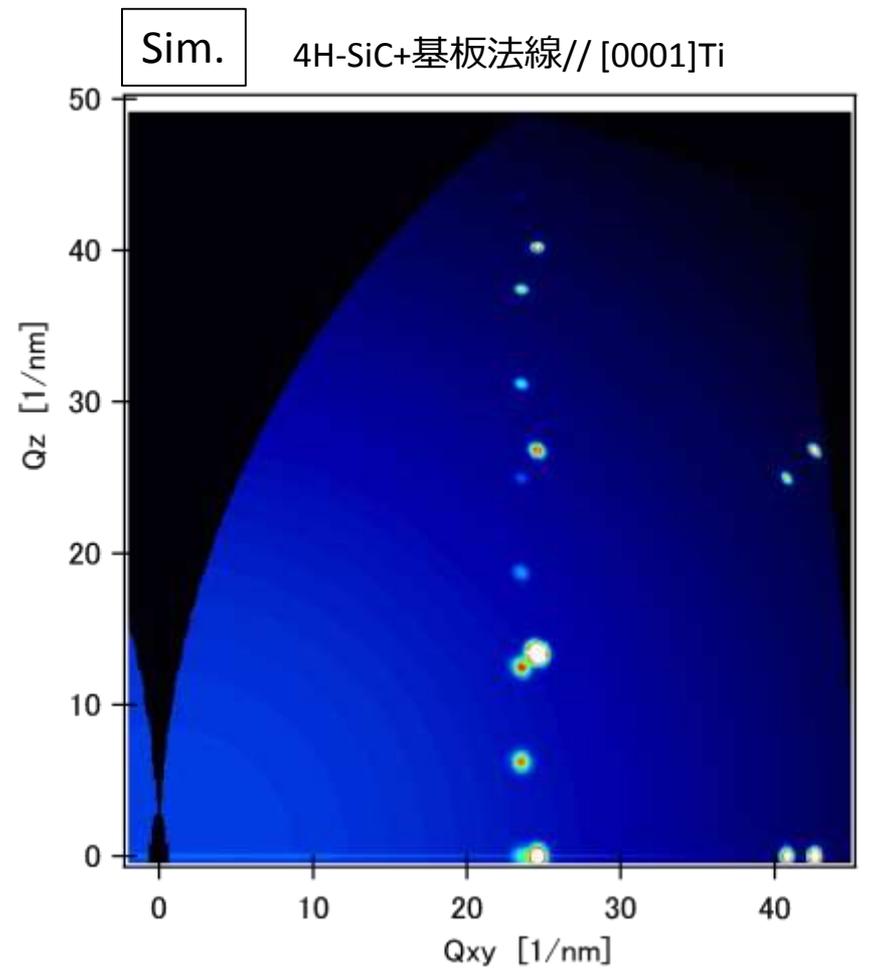
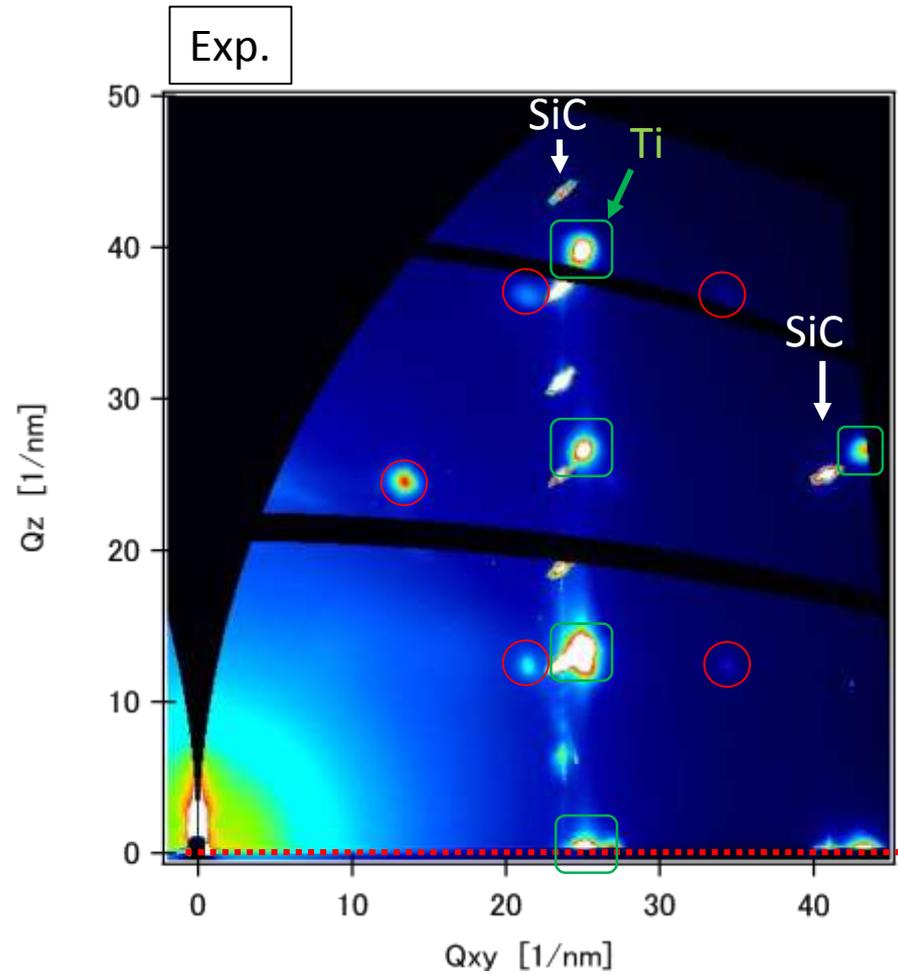


Sim.

基板法線// [0001]4H-SiC



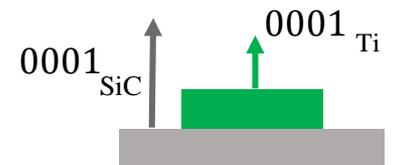
XRD結果 : Ti/SiC as-depo



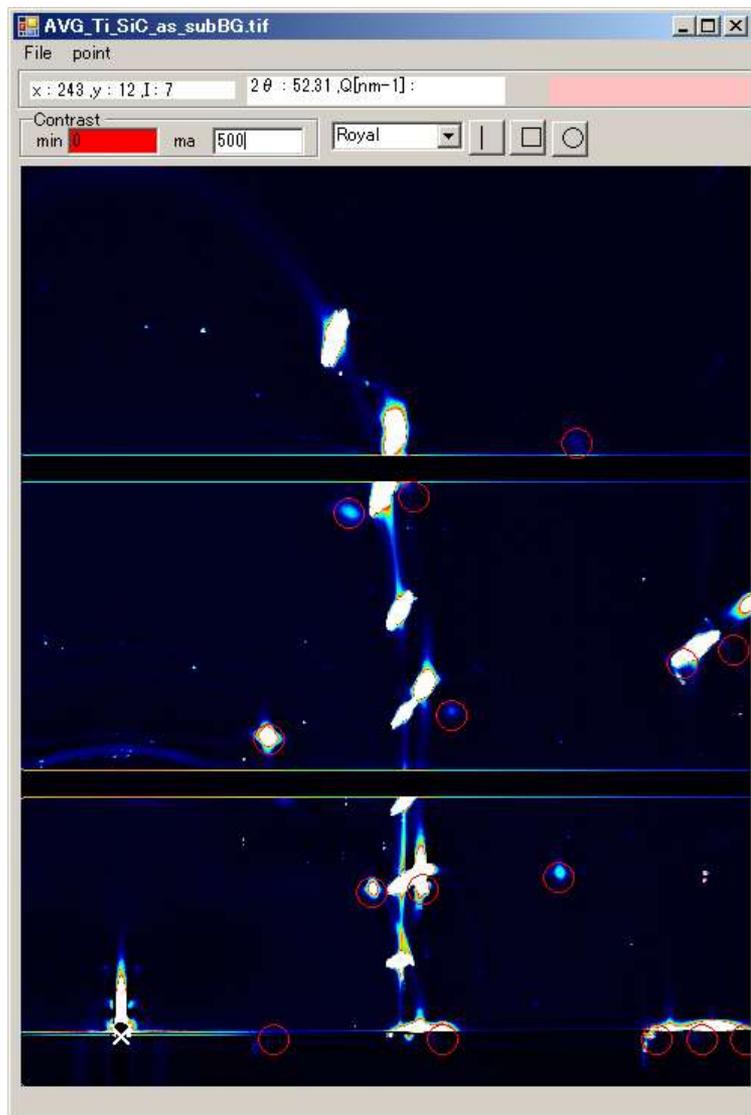
緑色で囲った反射は、[0001]配向のTi

赤色の反射・・・HAXPESからはmetal Ti以外は検出されていない

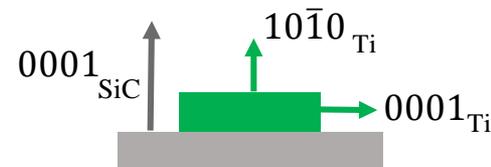
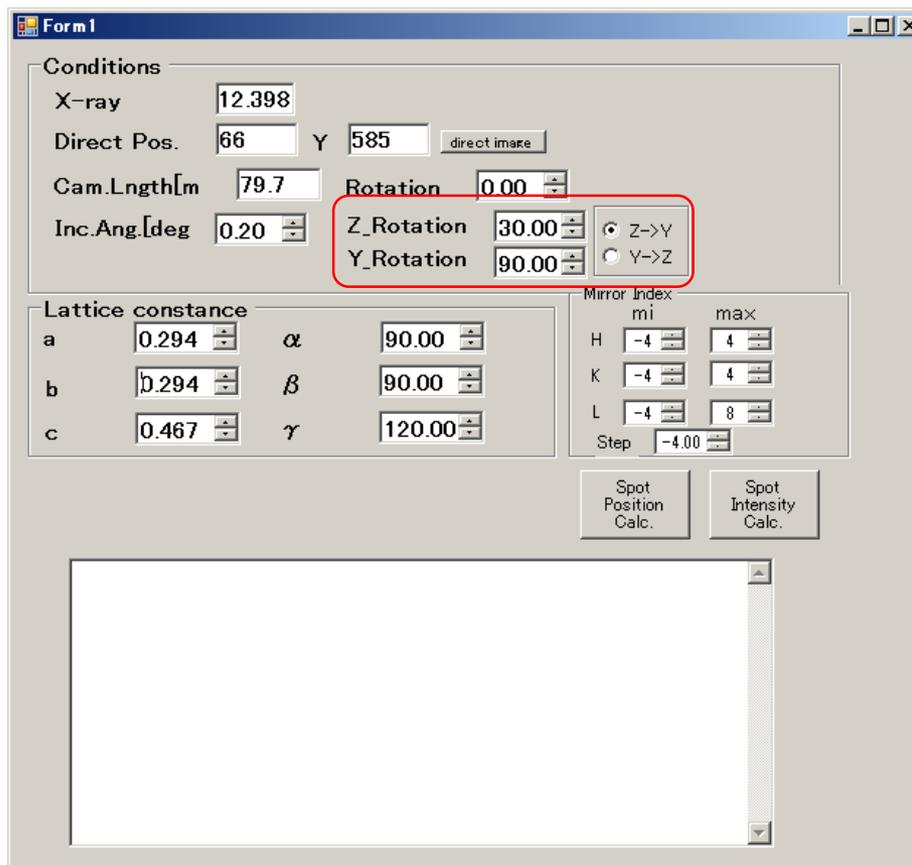
→ 配向の異なるTi



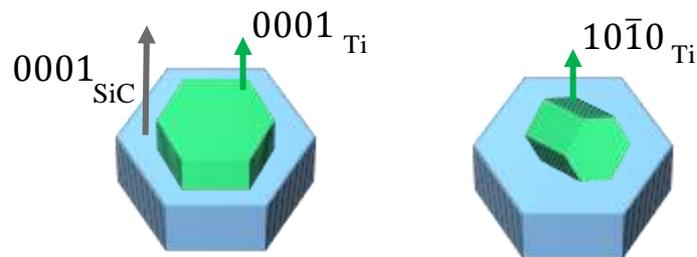
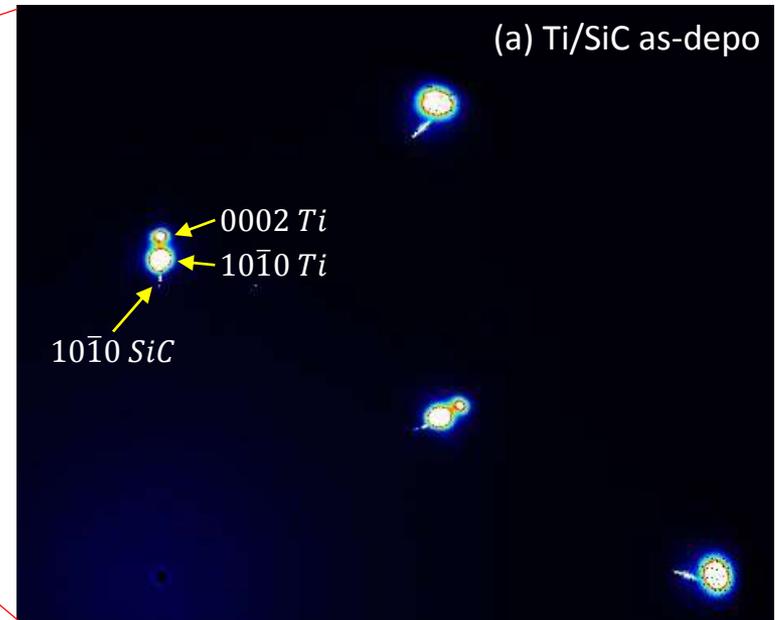
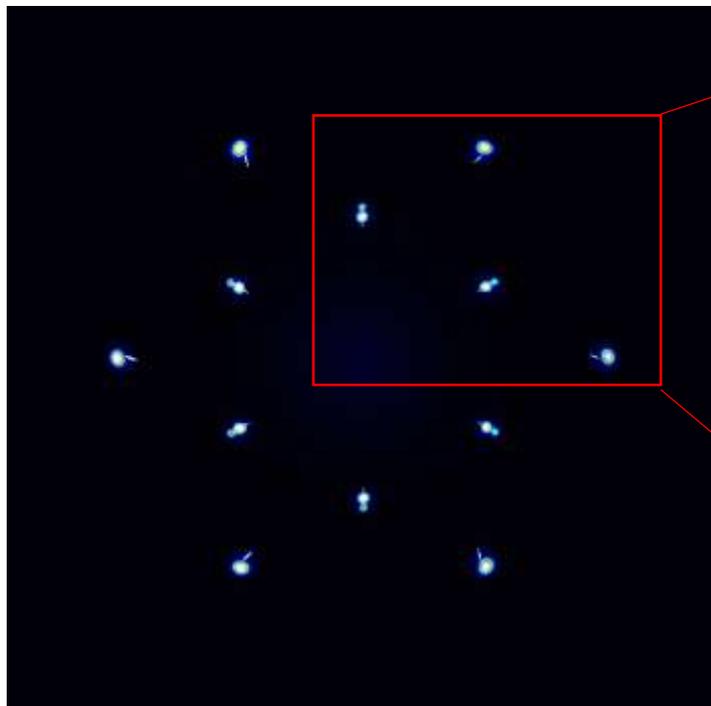
XRD結果 : Ti/SiC as-depo



c軸が倒れた配向を考える



XRD結果 : Ti/SiC as-depo

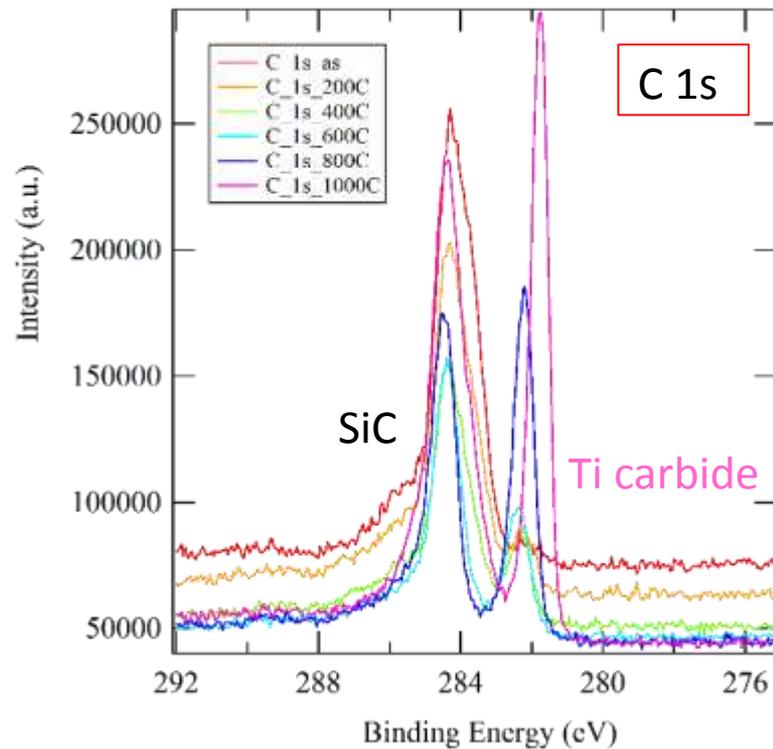
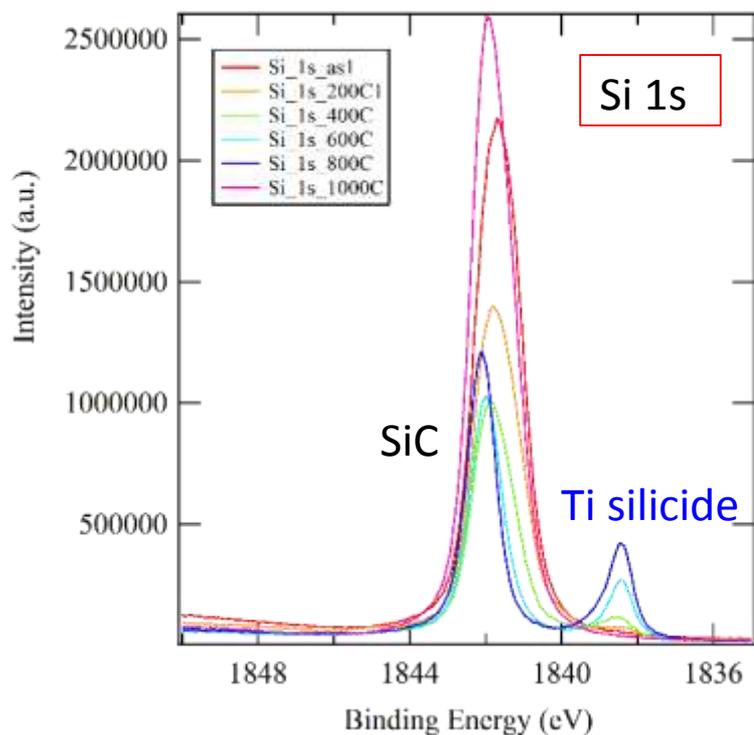


面内方位関係

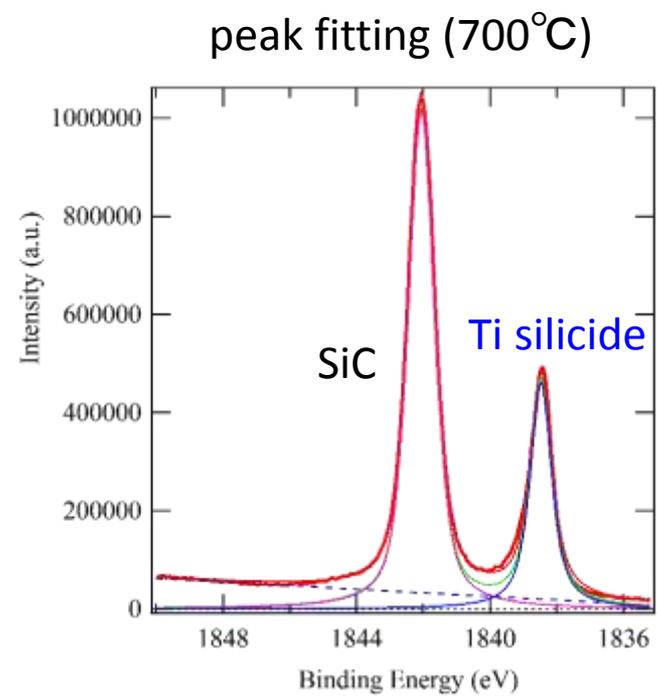
$$[10\bar{1}0] \text{ SiC} // [10\bar{1}0] \text{ Ti} // [0002] \text{ Ti}$$

- 2種類の配向が混在している
- いずれもSiCに対してエピタキシャル成長

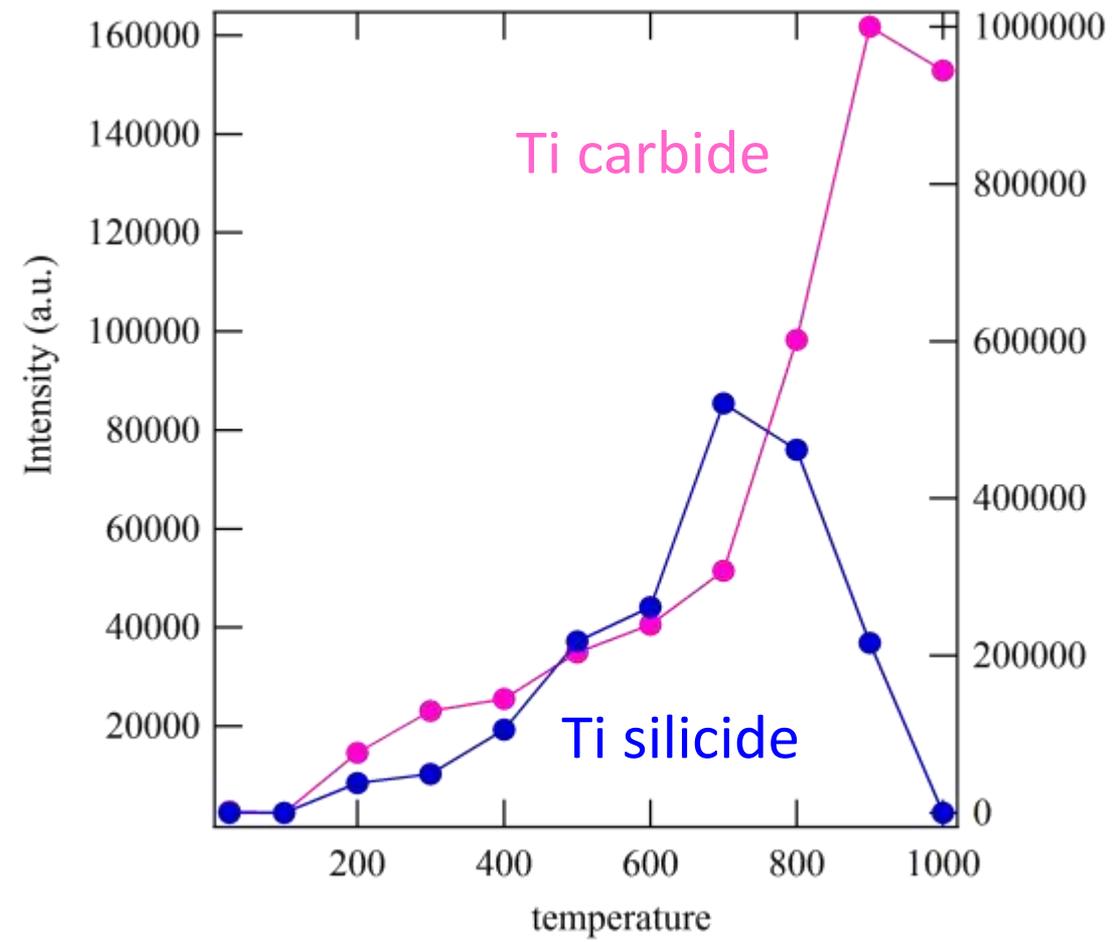
HAXPES結果 : Ti/SiC as-1000°C



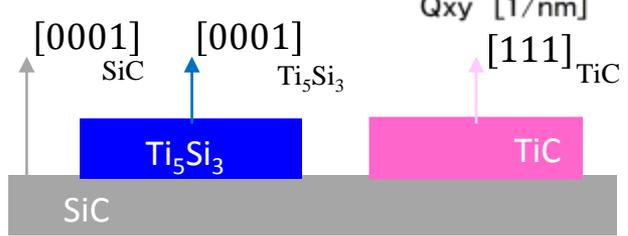
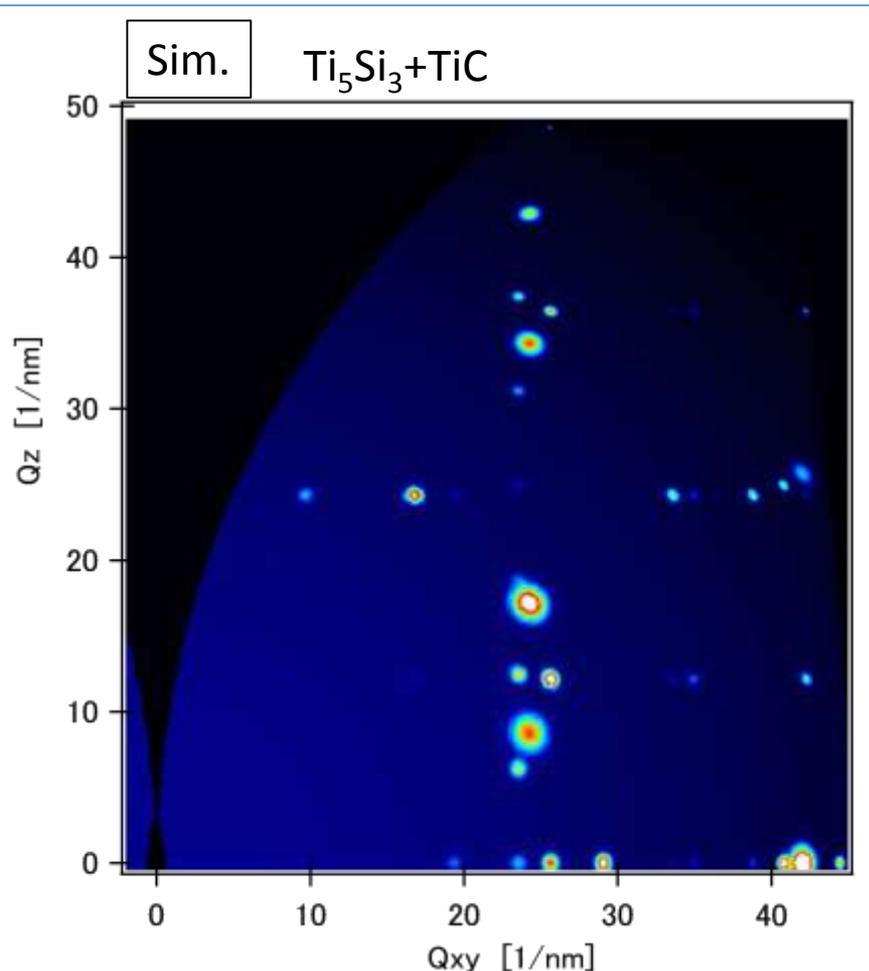
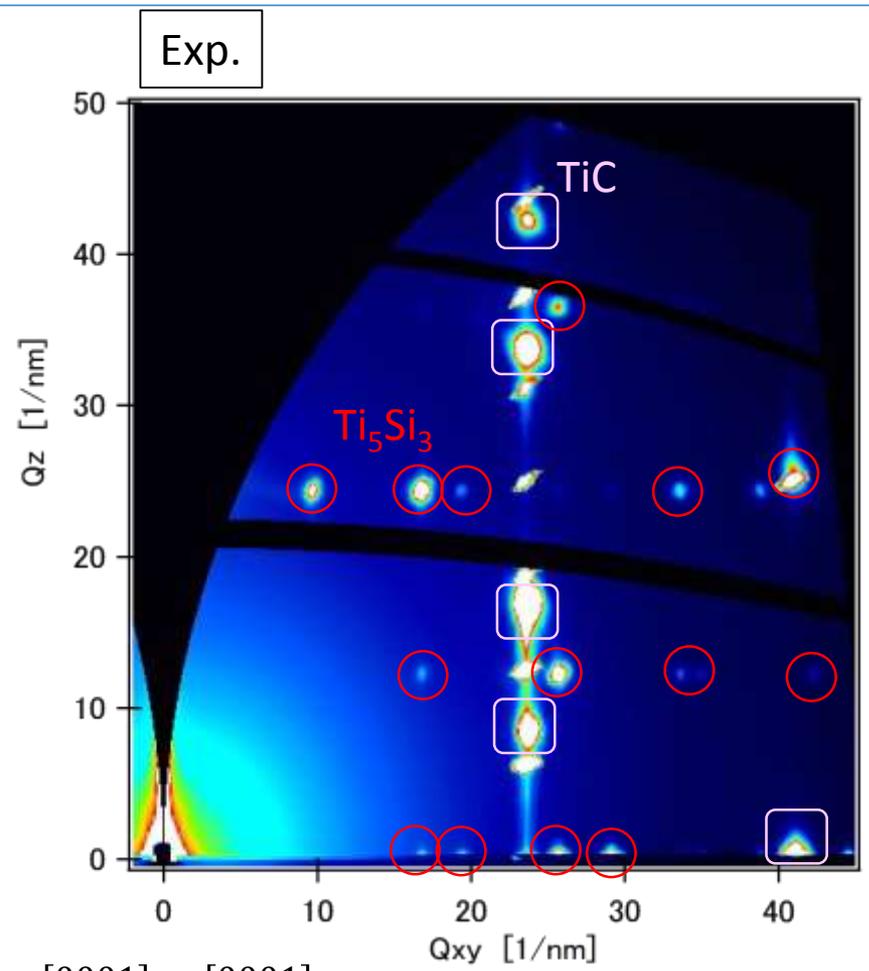
HAXPES結果 : Ti/SiC as-1000°C



ピーク強度の温度依存性

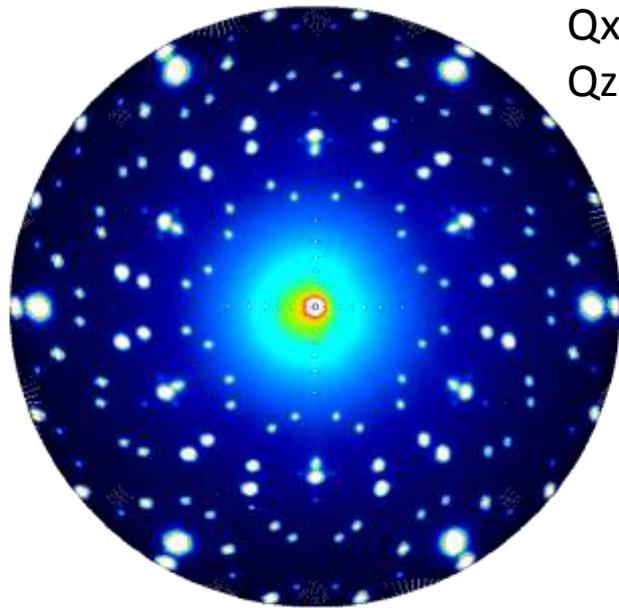


XRD結果 : Ti/SiC 800°C

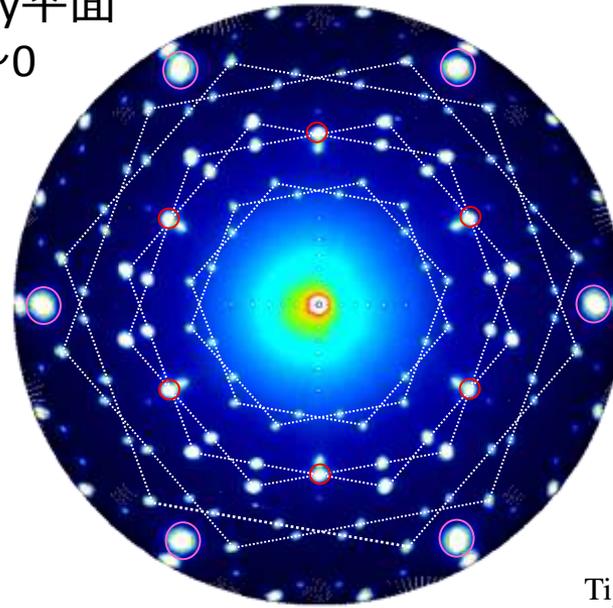


Ti silicide → Ti_5Si_3
 Ti carbide → TiC

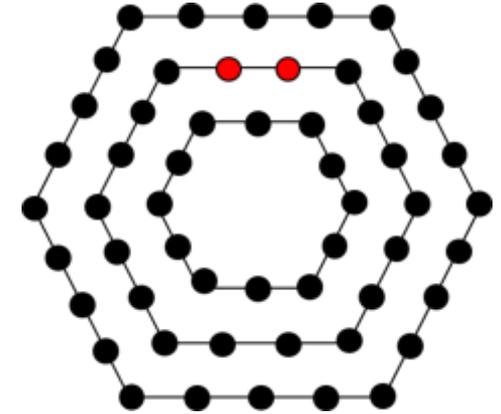
XRD結果 : Ti/SiC 800°C



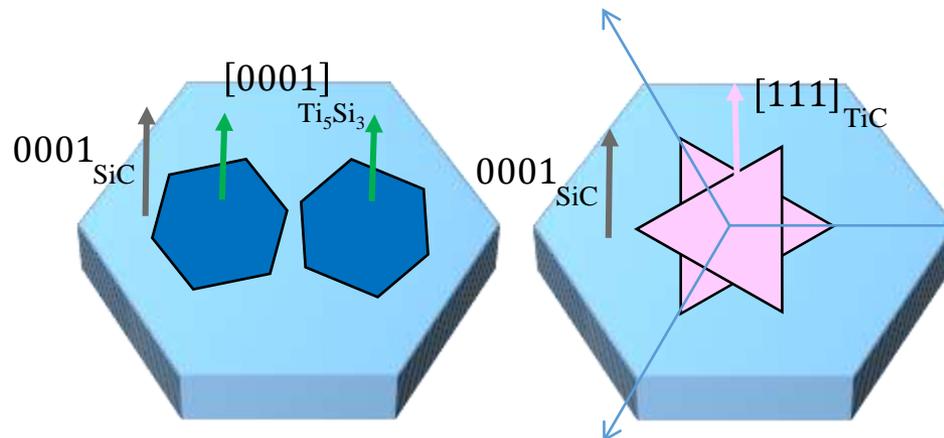
QxQy平面
 Qz ~ 0



● $[12\bar{3}0]$ と $[21\bar{3}0]$: 面間隔は同じ
 $10\bar{1}0$ SiCと方位を揃える



Ti_5Si_3 : 面内に約21°回転した二つのドメイン

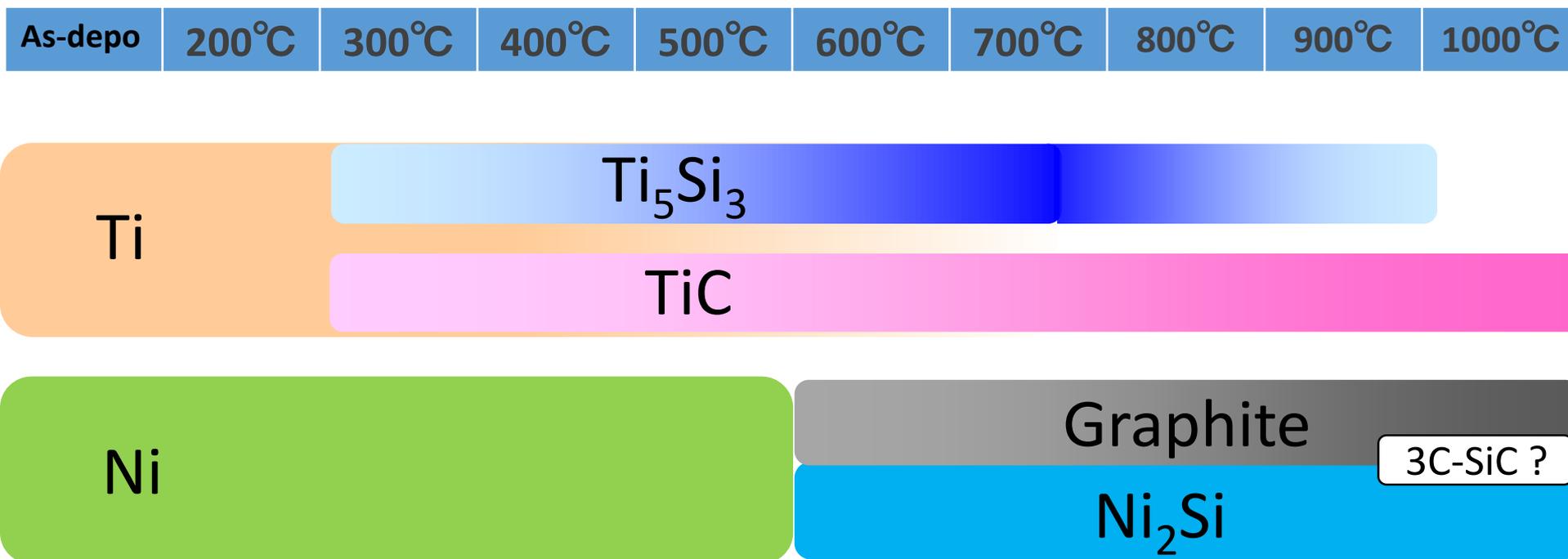


面内方位関係

$[10\bar{1}0]_{SiC} // [12\bar{3}0]_{Ti_5Si_3} // [21\bar{3}0]_{Ti_5Si_3}$

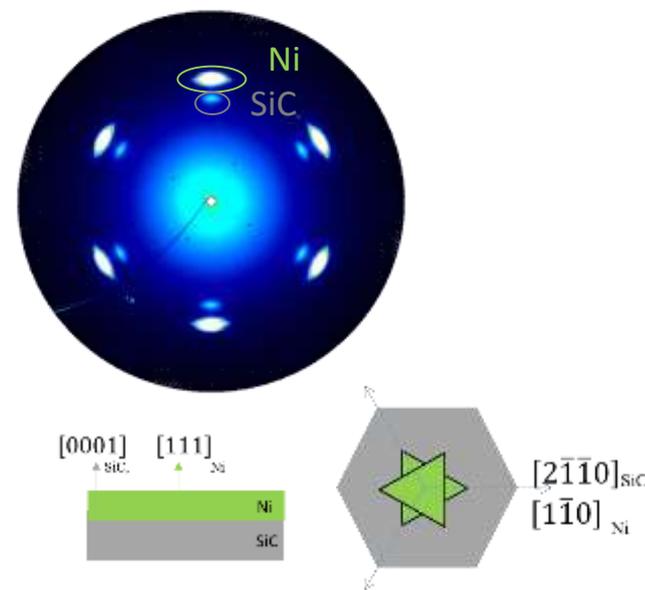
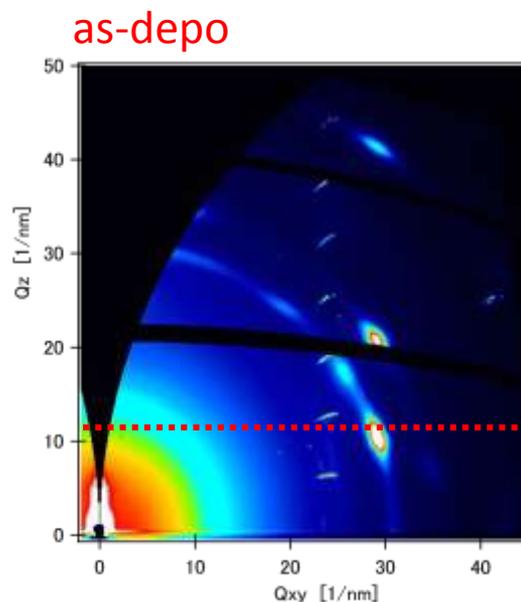
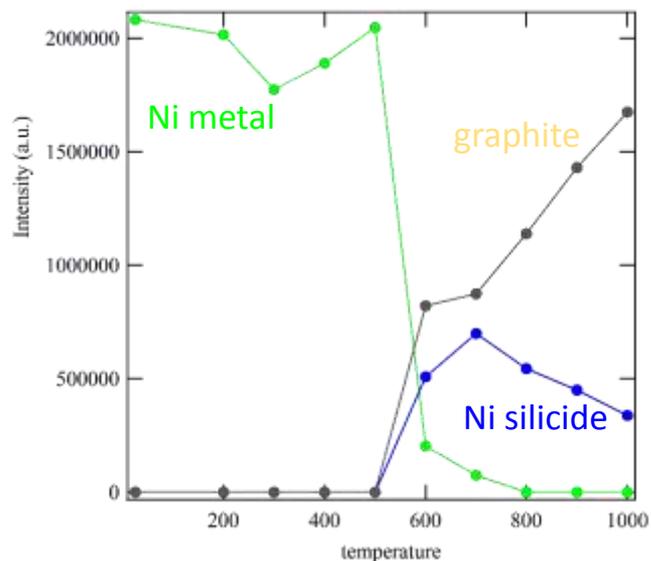
$[2\bar{1}10]_{SiC} // [1\bar{1}0]_{TiC}$

まとめ：Ti,Ni/SiC界面反応層の評価

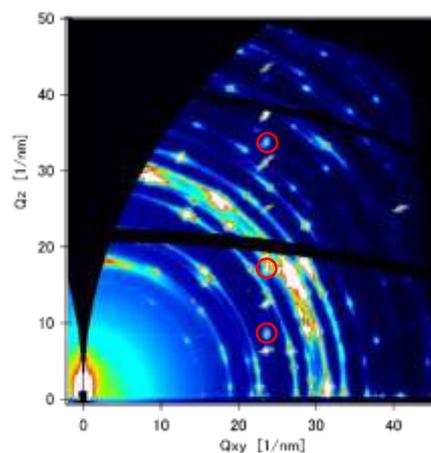


- Ti/SiCでは300°Cから徐々に Ti_5Si_3 、TiCが生成し、900°Cで Ti_5Si_3 が消失する。
- Ni/SiCでは600°Cから Ni_2Si 、グラファイトが生成する。
- as-depoや熱処理による生成物はSiC基板に対してエピタキシャル成長する。
- Ti/SiCではグラファイトの生成を抑制できる。Ni/SiCでは表面にシート状のグラファイトが生成する。
- 熱処理により4H-SiC⇒3C-SiCへの多形転移が観察された。

結果 : Ni/SiC



900°C 3C-SiC?

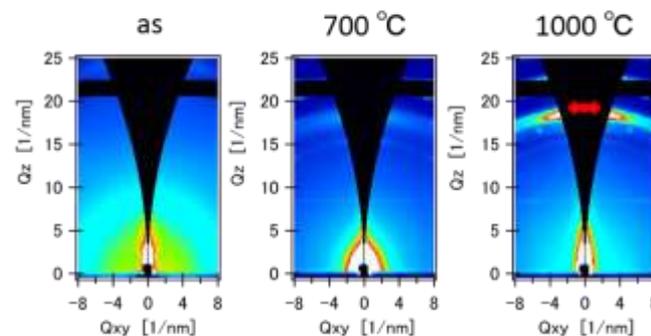


Ni₂Siのみ存在する
 NiSi, Ni₃₁Si₁₂ は無い

法線方向に[013]配向



graphite



700°Cからグラファイトが出現する。
 表面に平行にシート状に成長する。

発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要

3、事例紹介

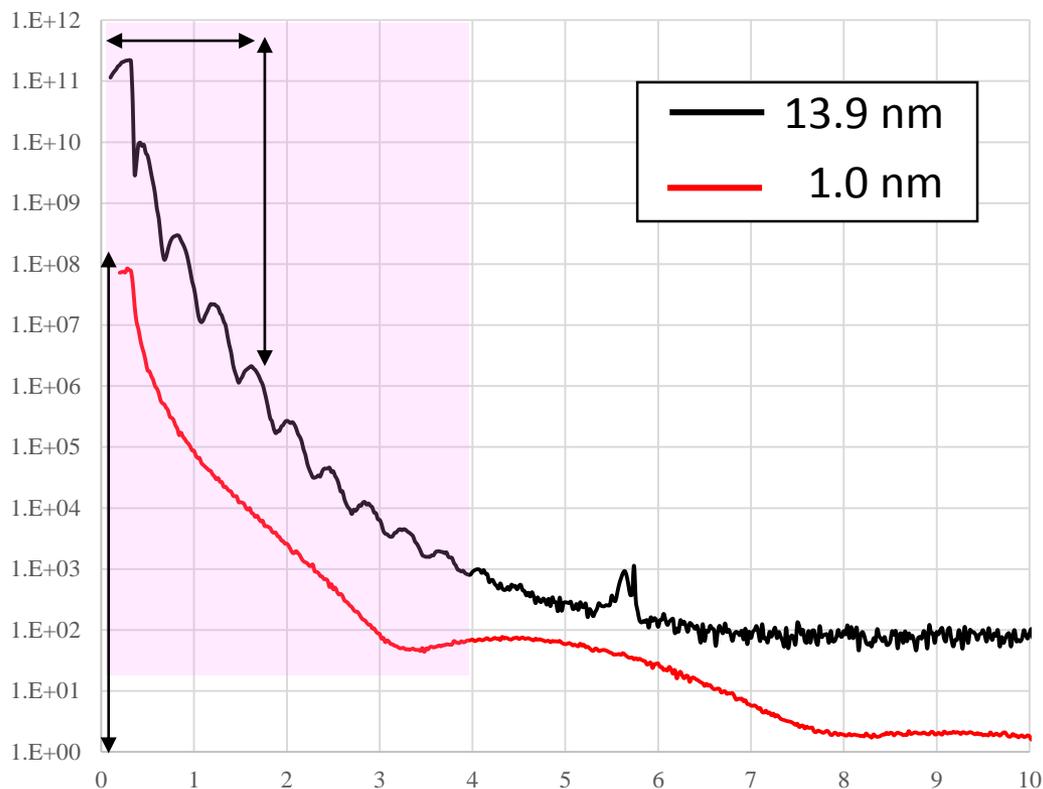
- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価
- TFT動作時のポテンシャル分布評価

広大 黒木先生

豊田工大 岩田先生

4、課題募集案内

X線反射率測定



振動周期⇒膜厚

膜厚が薄くなると、広いダイナミックレンジの測定が必要になる。
放射光を使うことで、膜厚の薄い領域の評価が可能になる。

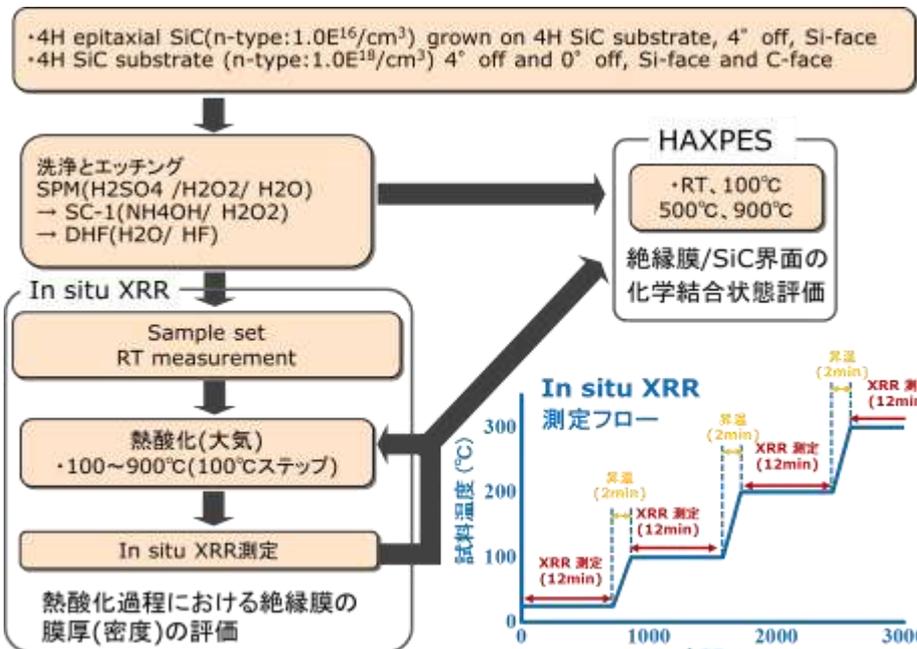


生成初期の酸化膜の成長観察

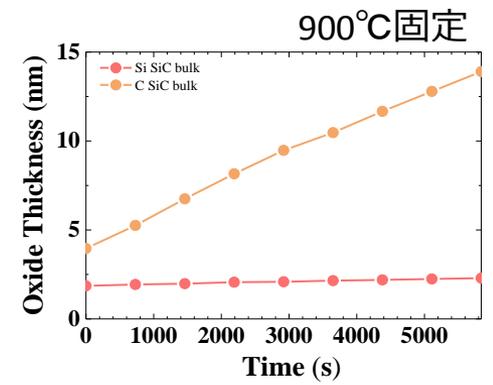
In-situ XRR+HAXPESによるSiCの熱酸化過程の観察



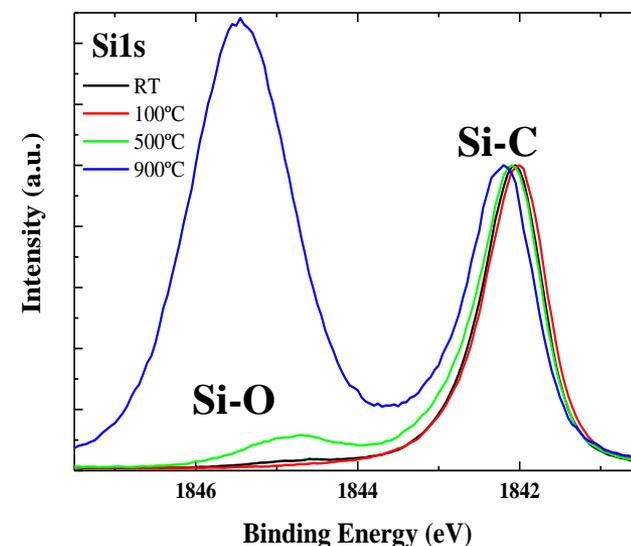
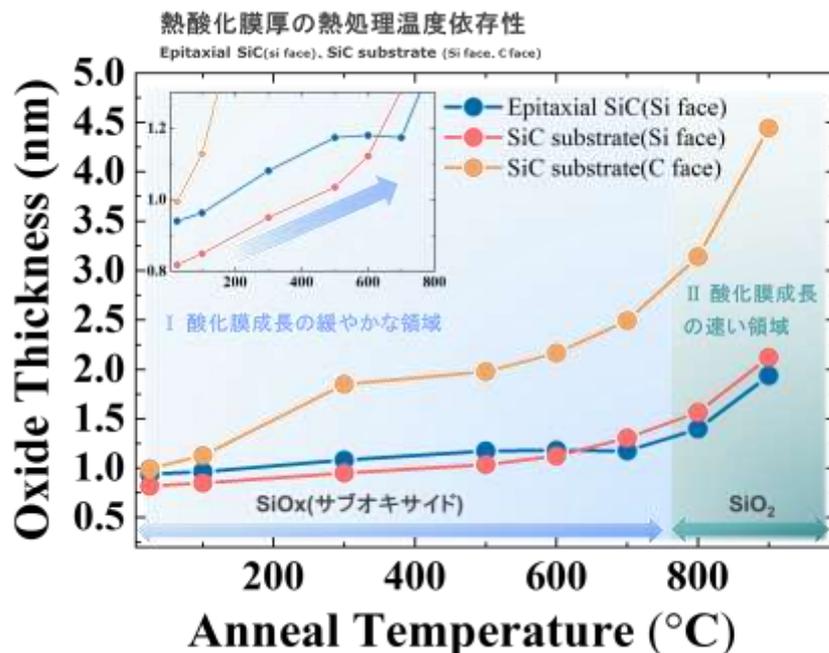
$h\nu$: 12.398 KeV
 HUBER multi-axis diffractometer
 Detector: NaI Scintillation Counter
 2θ range: 0-10 °
 2θ step: 0.02 °
 Exposure time: 0.5 sec/ 1 point
 Total point: 500 point
 Measurement time: 12 min



昇温時間: 2min
 XRR測定時間: 12min
 加熱雰囲気: 大気



In-situ XRR+HAXPESによるSiCの熱酸化過程の観察

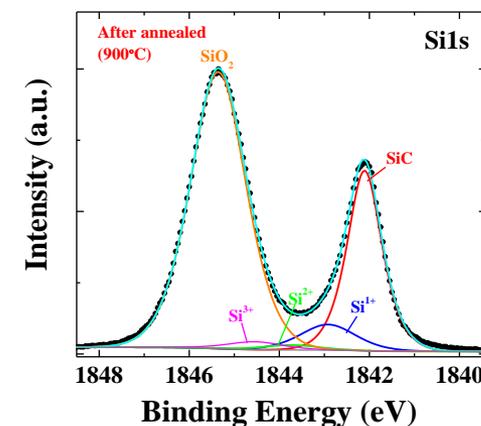


- ・各試料ともに100~700°Cまでは緩やかに酸化膜が成長し、800°C近傍より急激に酸化膜の成長が進行する。
- ・C faceはSi faceに比べて酸化膜の成長速度が大きい。
- ・RT~500°C(1.2nm程度)はサブオキサイド(SiO_x)が優勢、900°CはSiO₂が優勢と推定される。

- 課題
- ・ 最高温度が900°Cまで
 - ・ 大気中
 - ・ 測定時間12min



1500°C気密性加熱装置
連続走査で測定高速化



発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価
- TFT動作時のポテンシャル分布評価

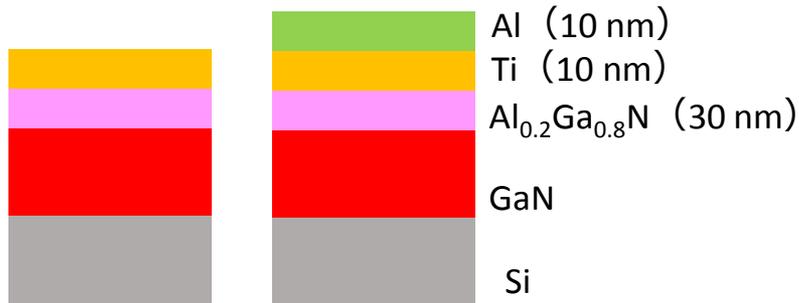
広大 黒木先生

豊田工大 岩田先生

4、課題募集案内

Al/Ti/AlGaN/GaN/Si

Sample



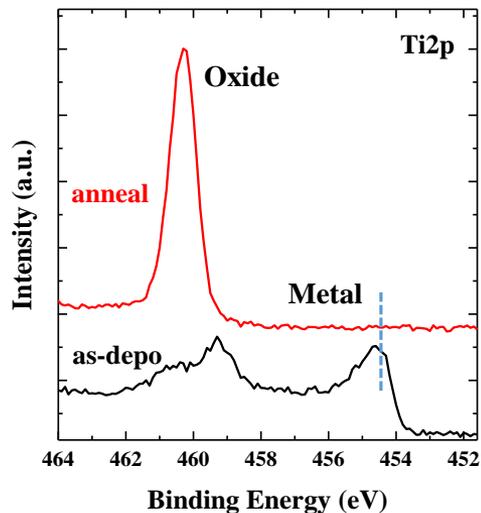
アニール条件
 ・窒素雰囲気下, 818°C

HAXPES、XRD：界面反応層評価

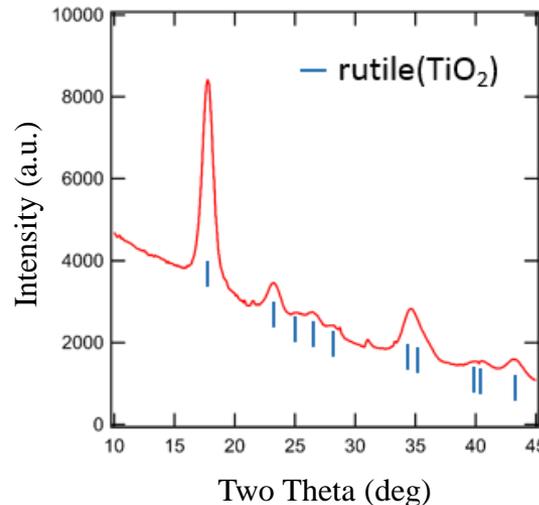
Al/Ti/GaN/Si：M.Nozaki et al, APEX. **9**. 105801(2016)

Ti/AlGaN

HAXPES

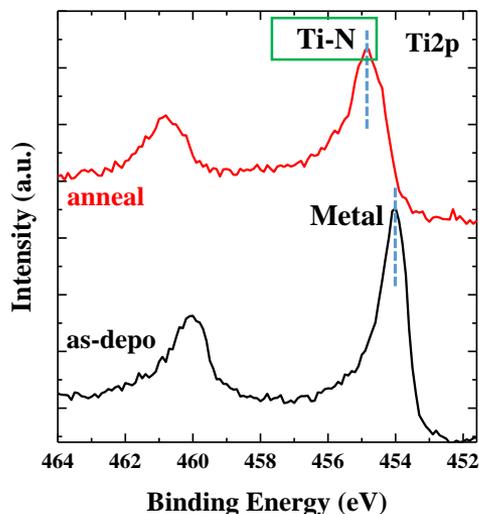
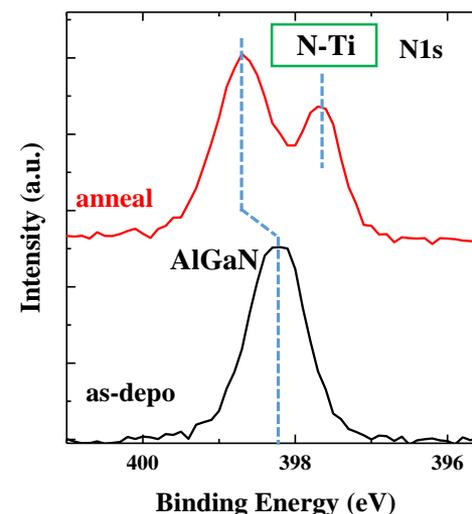
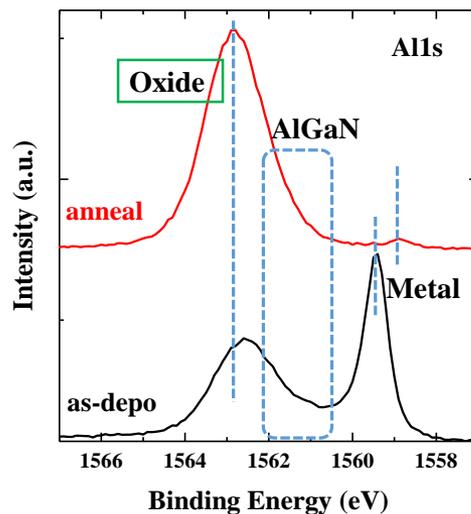
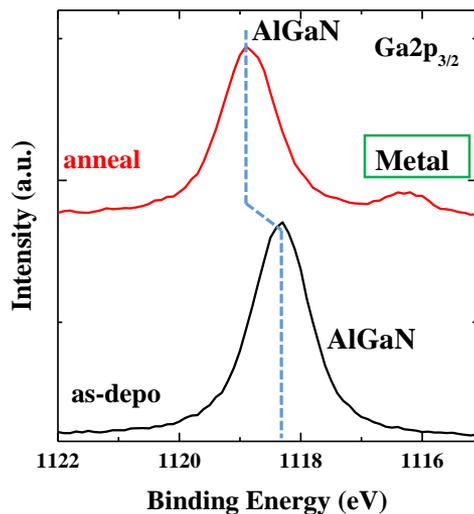


XRD

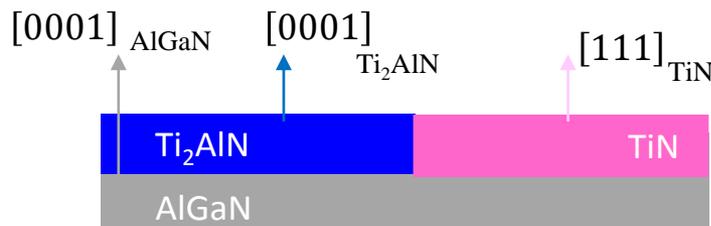


熱処理後にTiはほとんど酸化物を形成。
 多結晶rutile (TiO₂)
 界面反応は生じない

Al/Ti/AlGaN



- ・熱処理後の試料では、Ga金属成分と考えられるピークが確認されている。界面反応により余った分がGa金属を形成したと考えられる。
- ・熱処理後の試料ではN1sピークが2成分に変化。Ti-N結合。
- ・XRDよりTiN、Ti₂AlNを確認。いずれもエピタキシャル成長。



発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価

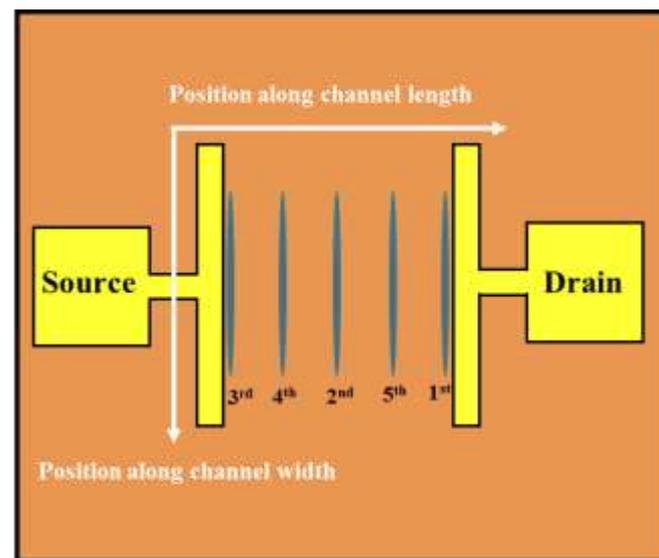
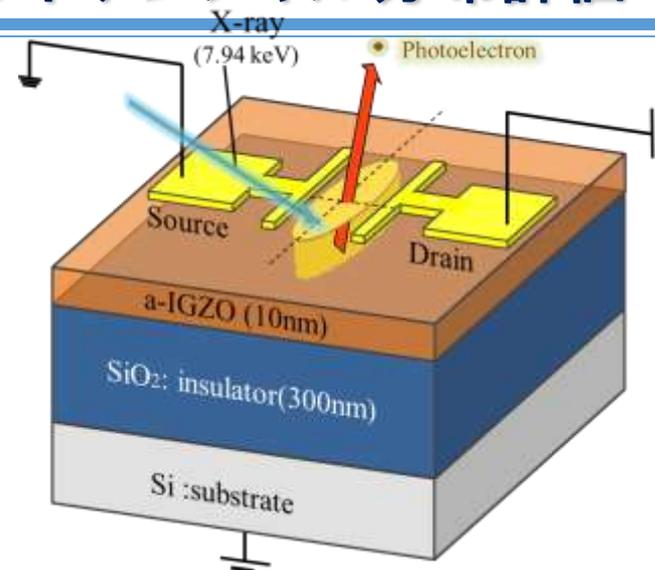
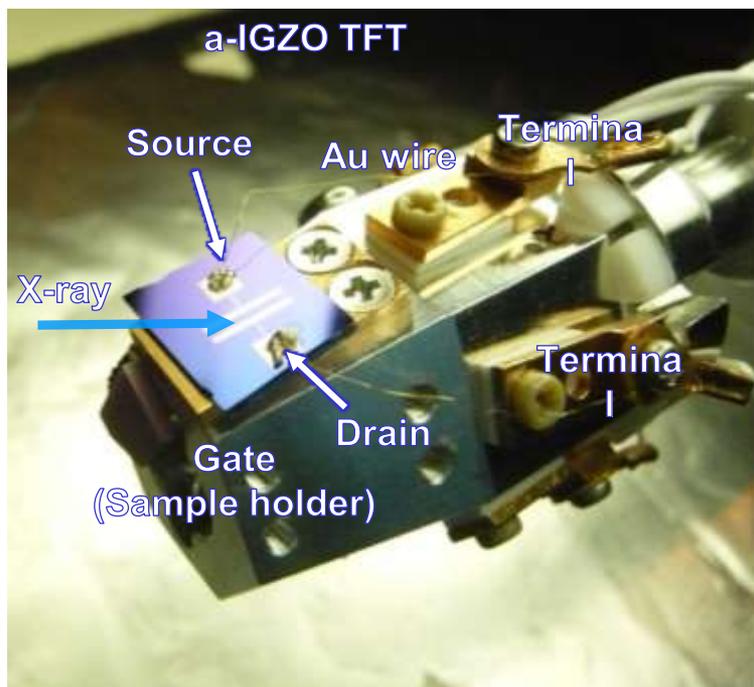
広大 黒木先生

豊田工大 岩田先生

- TFT動作時のポテンシャル分布評価

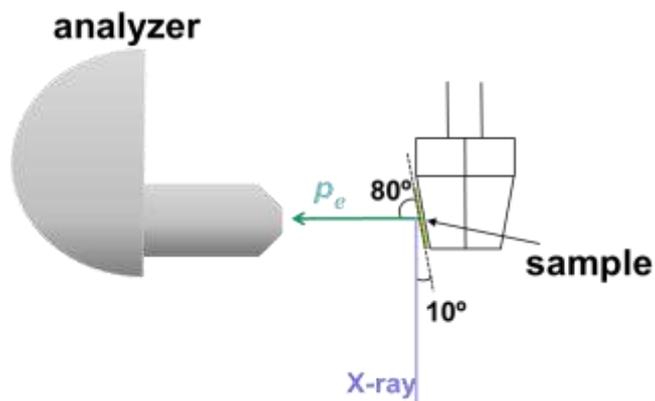
4、課題募集案内

トランジスタ駆動時における半導体層のポテンシャル分布評価



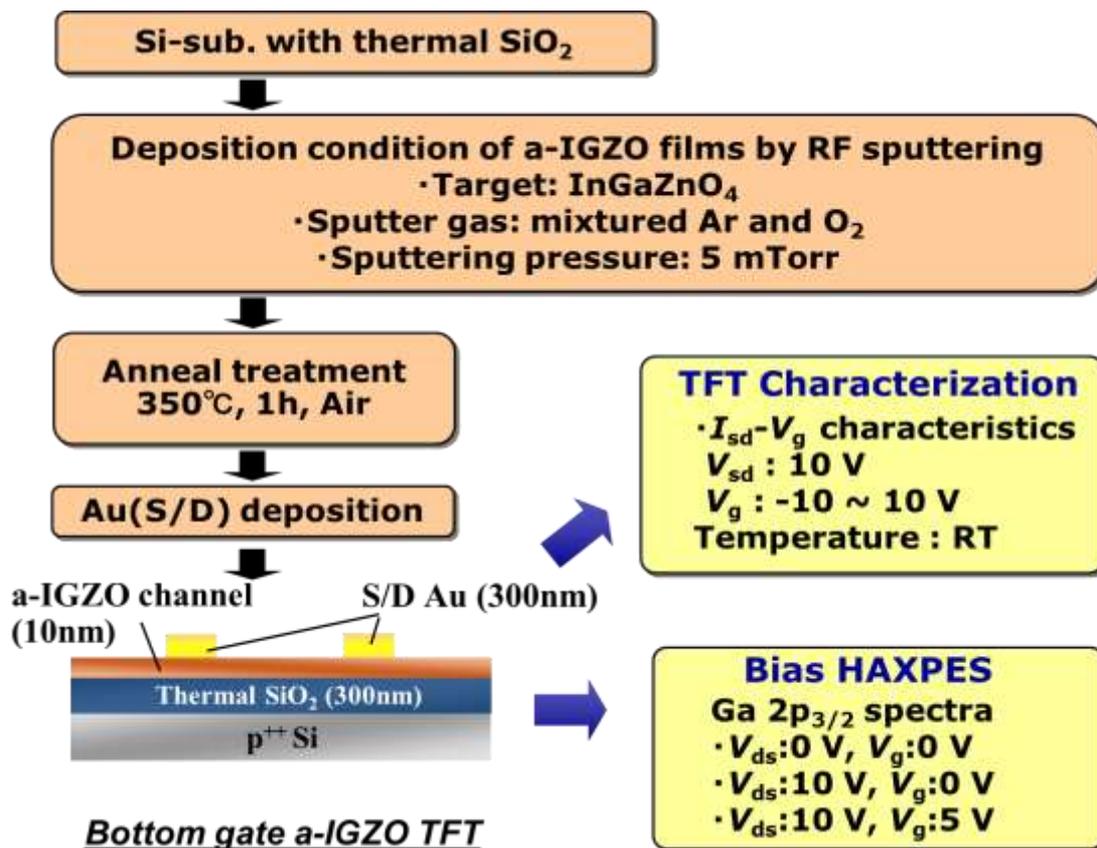
Bias applied sample holder for transistor operation

Experimental conditions of Bias applied HAXPES



- X-ray energy : 7.94 keV with Si(111) double crystal and Si (444) channel cut monochromator
- Horizontal/vertical focusing mirror
- Analyzer : R4000
- Slit size : 0.5 mm × 25 mm curved
- Temperature : RT
- Pass energy : 200 eV
- Energy resolution : ~ 235 meV
- Spectra : Ga 2p_{3/2}
- Take off angle : 80 degree

Sample preparation



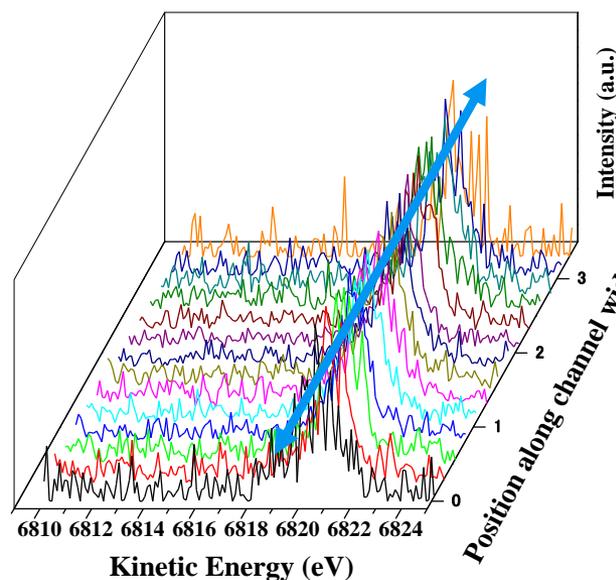
- ### TFT Characterization
- $I_{sd}-V_g$ characteristics
 - V_{sd} : 10 V
 - V_g : -10 ~ 10 V
 - Temperature : RT

- ### Bias HAXPES
- Ga 2p_{3/2} spectra
- V_{ds} : 0 V, V_g : 0 V
 - V_{ds} : 10 V, V_g : 0 V
 - V_{ds} : 10 V, V_g : 5 V

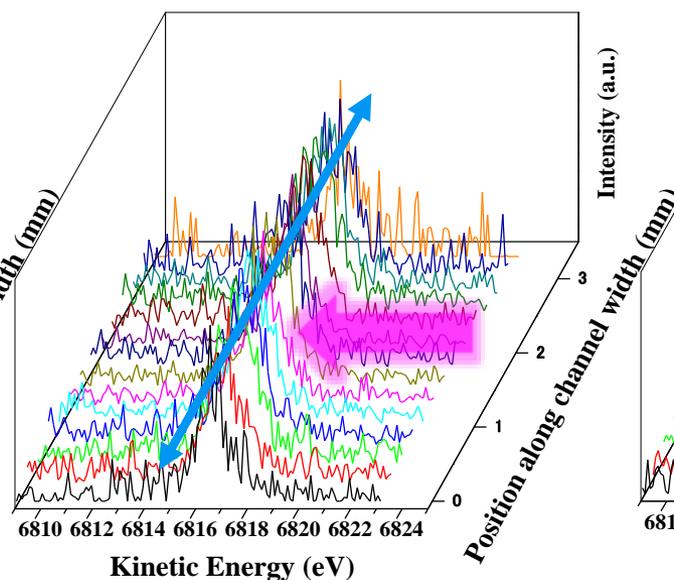
Ga $2p_{3/2}$ montage spectra as a function of bias condition

$V_{ds} = 0 \text{ V}$ & $V_g = 0 \text{ V}$

No bias

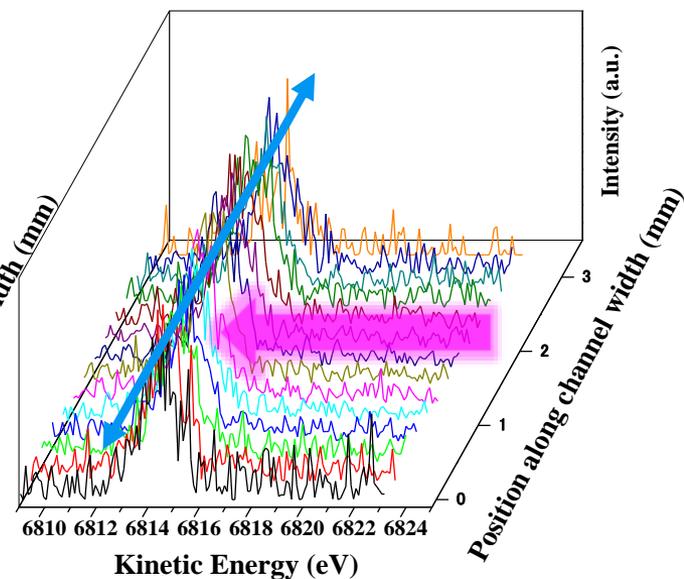


$V_{ds} = 10 \text{ V}$ & $V_g = 0 \text{ V}$



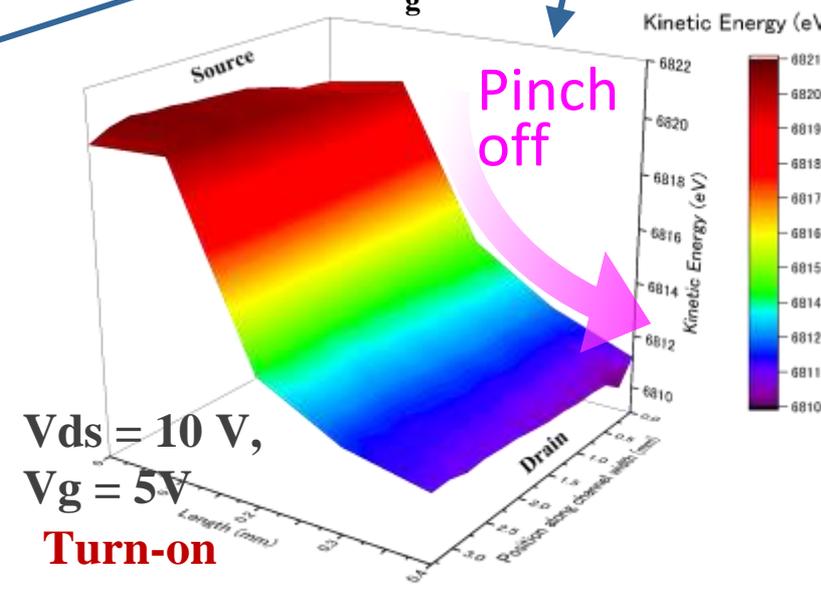
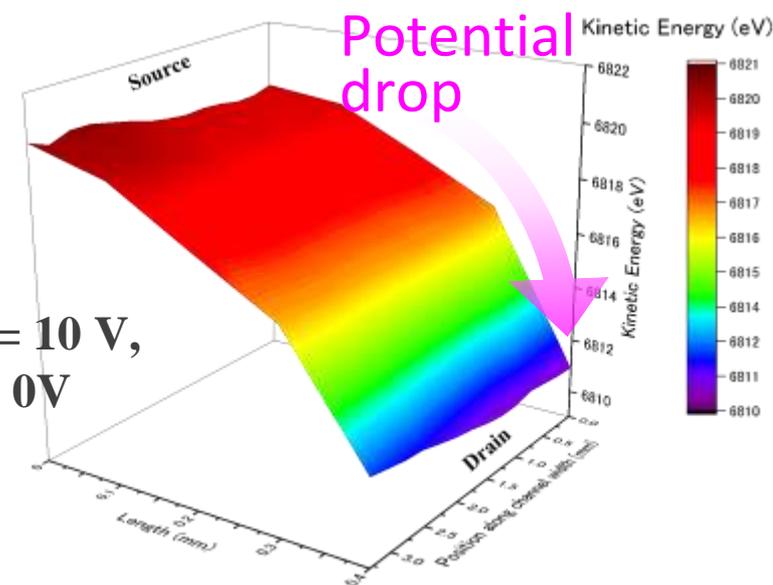
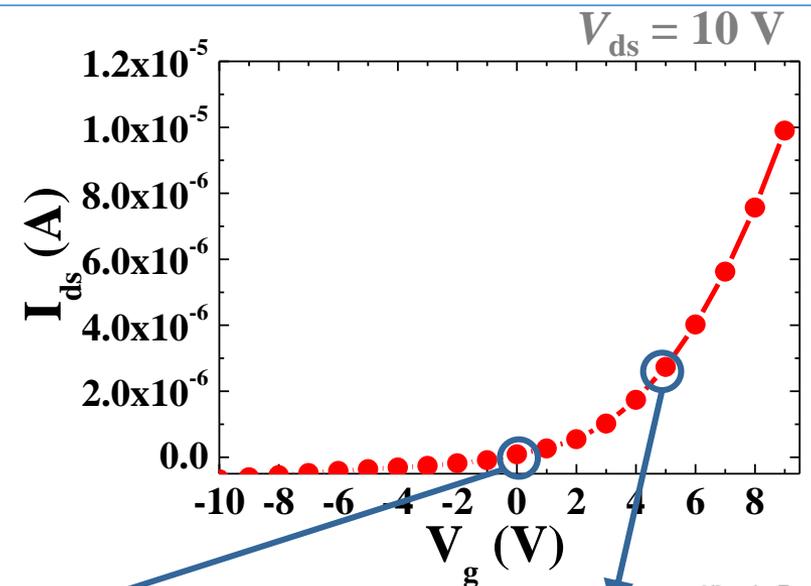
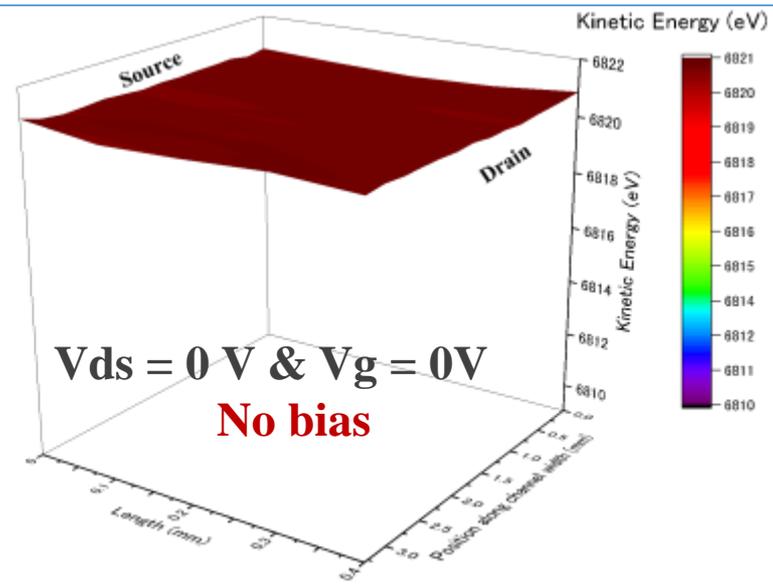
$V_{ds} = 10 \text{ V}$ & $V_g = 5 \text{ V}$

Turn-on



The changes of core level peak (potential) depending on the bias voltage (V_{ds} and V_g) are able to detect by bias applied HAXPES.

Potential distribution of a-IGZO channel



発表内容

1、BL46XUの概要

2、測定手法の概要

3、事例紹介

- Ti,Ni/SiC界面反応層の評価
- SiC熱酸化過程の観察
- Al/Ti/AlGa_N界面反応層の評価

広大 黒木先生

豊田工大 岩田先生

- TFT動作時のポテンシャル分布評価

4、課題募集案内

課題募集案内

◎ 2017A2期課題募集 (BL14B2、BL19B2、BL46XU)

6月中旬～7月末
実験実施

成果公開優先利用課題

2017年3月23日 (木) 午前10:00JST (提出完了時刻)

産業新分野支援課題、一般課題(産業利用分野)、
大学院生提案型課題(産業利用分野)、成果専有課題 (一般課題)

2017年3月30日 (木) 午前10:00JST (提出完了時刻)

◎ 2017B1期課題募集 (全共用BL)

10月～11月
実験実施

2017年5月下旬～6月上旬

共同実験者に民間企業または産業界に準ずる機関等に所属する者を含む

◎ 測定代行 (BL14B2、BL19B2、BL46XU)

随時募集

課題募集案内

The screenshot shows the SPRING-8 website with the following elements:

- Navigation Menu:** Home, About SPRING-8, News/Publications, Research Examples/Research Results, Utilization Cases, For Students/Postgraduates, For General Users.
- Main Banner:** "利用案内" (Utilization Cases) with a "Read More" button.
- Left Sidebar:** "最新ニュース" (Latest News) with a list of recent news items from 2017.
- Right Sidebar:**
 - "利用研究課題募集" (Research Topic Recruitment) with a link "課題申請はこちら" (Apply for Topic Here).
 - "ソーシャルメディア" (Social Media) with links to Twitter (@spring8pr) and YouTube (SPRING-8 Channel).
 - "掲載リンク掲載状況" (Publication Link Status) with "現在の運転状況" (Current Operation Status) and "運転スケジュール" (Operation Schedule).
 - "クイックリンク" (Quick Links) with links to "SPRING-8 UIサイト" (SPRING-8 UI Site), "利用者情報" (User Information), "SPRING-8/SACL A 利用研究成果集" (SPRING-8/SACL A Research Results), and "SPRUC" (Spring-8 User Research Center).

課題申請案内

ユーザー登録
課題申請

課題募集案内

The screenshot shows the SPRING-8 website's 'Research Proposals' page. The main content area lists various proposal categories:

- < 2017B期募集 >**
 - 2017B SPRING-8「新分野創成利用」における研究グループの募集について
- < 2017A第2期募集 >**
 - 2017A第2期(2017年6月~7月) 産業利用IIビームライン IIおよびIII(BL19B2, BL14B2およびBL46XU)における利用研究課題の募集について
- < 2017A期追加募集 >**
 - BL05SS 2017A SPRING-8利用研究課題追加募集のお知らせ
- < 常時募集 >**
 - 成果専有時期指定課題の募集について
 - 緊急課題の募集について
 - 測定代行
 - 産業利用 IIビームラインBL14B2におけるXAFS測定代行の実施について
 - 産業利用 IビームラインBL19B2における粉末X線回折測定代行の実施について
 - 産業利用 IビームラインBL19B2における小角散乱(SAXS)測定代行の実施について
 - 産業利用IIIビームラインBL46XUにおける硬X線光電子分光(HAXPES)測定代行の実施について
 - 産業利用IIIビームラインBL46XUにおける薄層評価(GIXD/XRR)測定代行の実施について
 - 構造生物学IIビームラインBL38B1におけるタンパク質結晶測定代行の実施について

Red boxes and arrows highlight the following items:

- 2017A2期課題募集**: Points to the 2017A第2期募集 item.
- 測定代行**: Points to the '測定代行' sub-section under the '常時募集' category.

研修会予定 (BL46XU)

- ◎ 2次元検出器を用いた薄膜X線回折測定研修会
- ◎ HAXPES研修会

実施時期：2017年10～12月

定員：5グループ以内、2-3時間/1グループ

SPring-8に来所していただき、ユーザーさんの試料の測定
課題申請のための予備測定

連絡先

BL46XU多軸X線回折計

小金澤 智之 : koganeza@spring8.or.jp

BL46XU HAXPES

安野 聡 : yasuno@spring8.or.jp

コーディネータ

大麻 隆彦 : takahiko.ooasa@spring8.or.jp

BL46XUホームページ

<http://support.spring8.or.jp/bl46xu.html>