



Renninger Scan法による 六方晶極性結晶c面極性判定

大鉢忠^{1,2}, 佐藤祐喜², 竹本菊郎¹, 羽木良明³, 和田元², 吉門進三²

界面反応研究所¹, 同志社大学理工学部², 住電半導体株式会社³

tohachi@irel.jp

- 1) JCCG-46 予稿集 28a-A08 (2017).
- 2) 第10回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会 Poster F24.

背景（良質基板結晶評価）

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日， 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

GaN系

高出力レーザー
高出力高周波デバイス

良質基板結晶

六方晶GaN
結晶評価法の提案

エピタキシャル成長

サファイア基板
結晶評価法の提案

実験法 (Renninger Scan法)

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory



Renninger Scan法

平行ビーム法

X線多重回折法

X-ray multiple diffraction (XRMD)
(Umweganregung) 遠回り反射

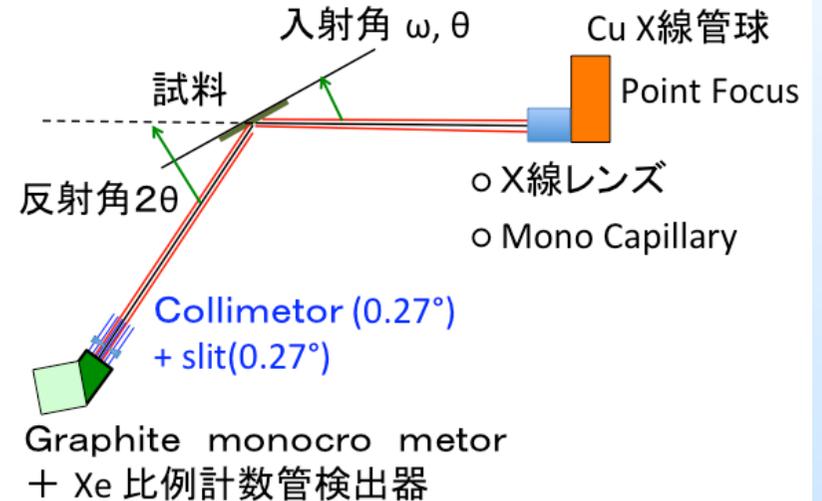
FCP(Fixed Chi Phi) Scan パターン
[Renninger Scan pattern]



対称禁制反射 (Phi Scan)

Bragg禁制反射が観察できる

平行ビーム法



- [1] M. Renninger, Z. Phys. 106, 141 (1937).
- [2] M. Renninger, Act. Cryst. 8 597 (1955).
- [3] 稲葉克彦, リガクジャーナル, 44(2) 7-15 (2013)
- [4] J.B Bläsing and A. Krost, phys. stat. sol., (a)201(4), R17-R20 (2004)
- [3] 三宅静雄, 『X線の回折』(朝倉書店)316-320 (1969)
- [4] 松本崧生, 鉱物学雑誌 16(1)99~108(1983)

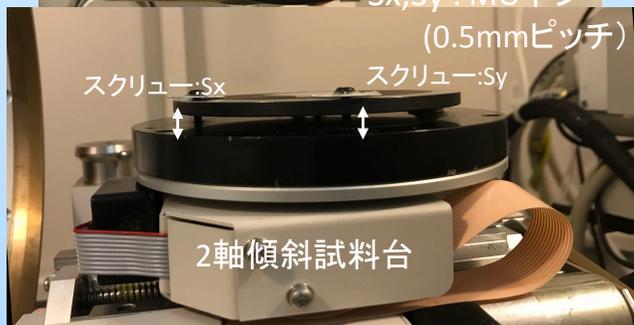
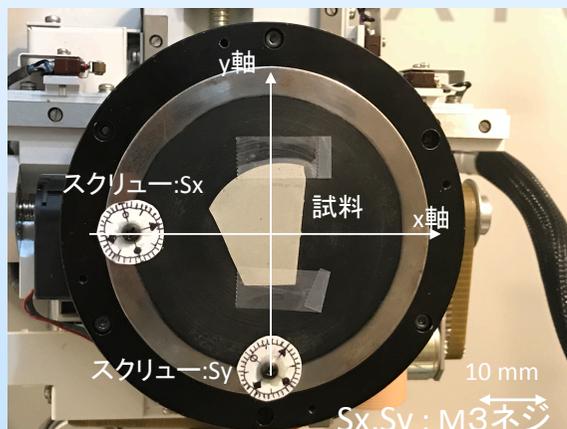
Renninger Scan法

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館

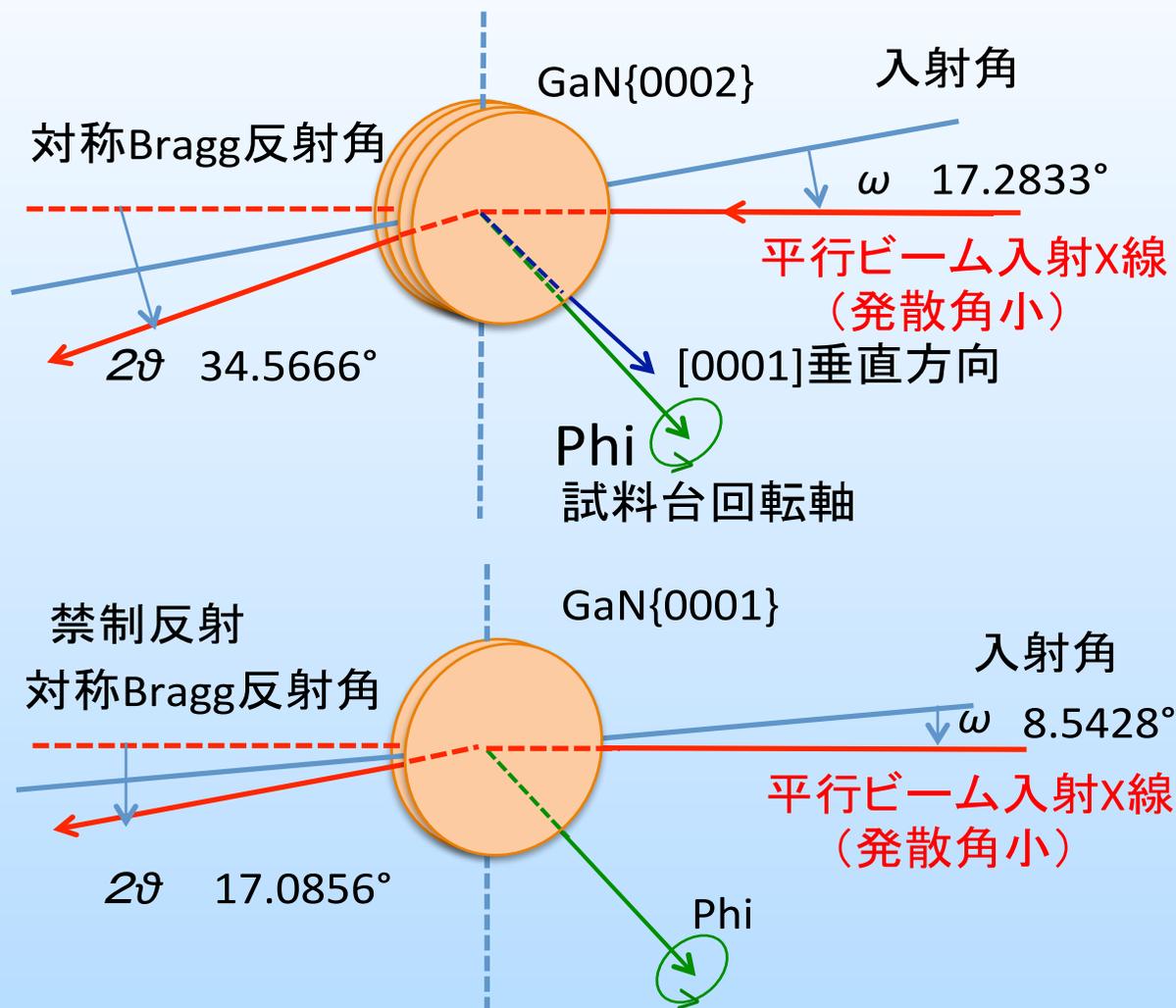


IRE Laboratory

Phiスキャン 試料台回転軸 と結晶軸を合わせる



X線装置 2軸傾斜試料台
FCP(Fixed Chi Phi) スキャンに必須



ω : 入射角 2θ : 反射角 ϕ : 回転
 ψ : あおり X;Y;Z 座標位置

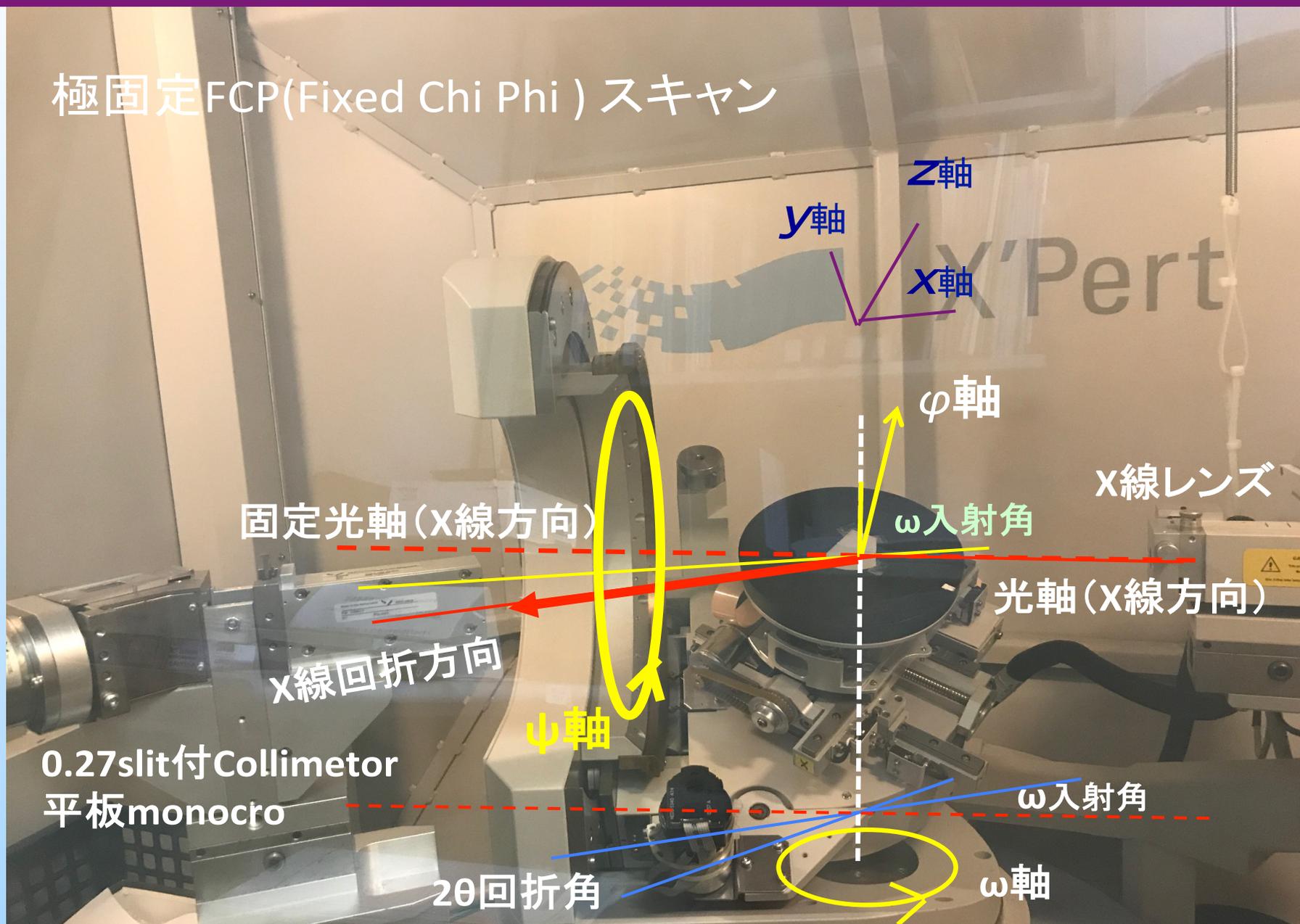
XRMD測定試料設定

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

極固定FCP(Fixed Chi Phi) スキャン





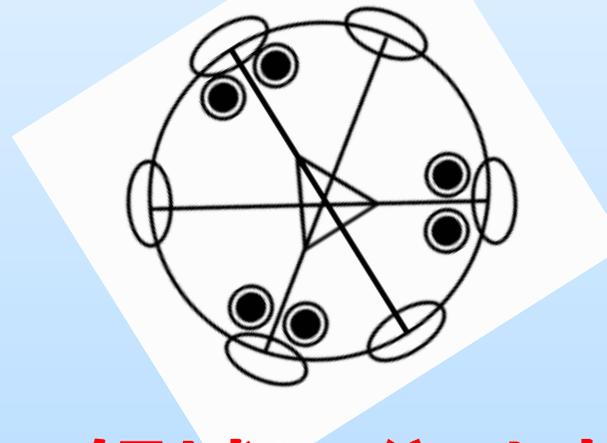
空間群 $P6_3mc$

六回回反軸
鏡面对称面



平面では3回対称
六回回反对称

$\bar{6}m2$ D_{3h}



鏡面对称面

6領域名称

基板を 60° の6つの領域に分けます

$A_-, A_+, B_-, B_+, C_-, C_+$
6領域 - と + は鏡映

試料の結晶方位と結晶面内12領域名称

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



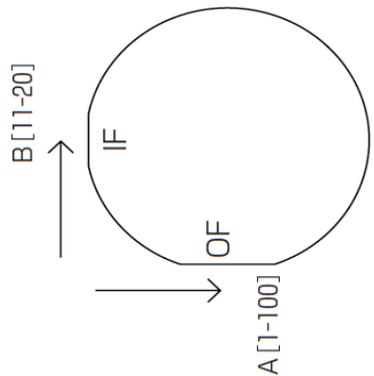
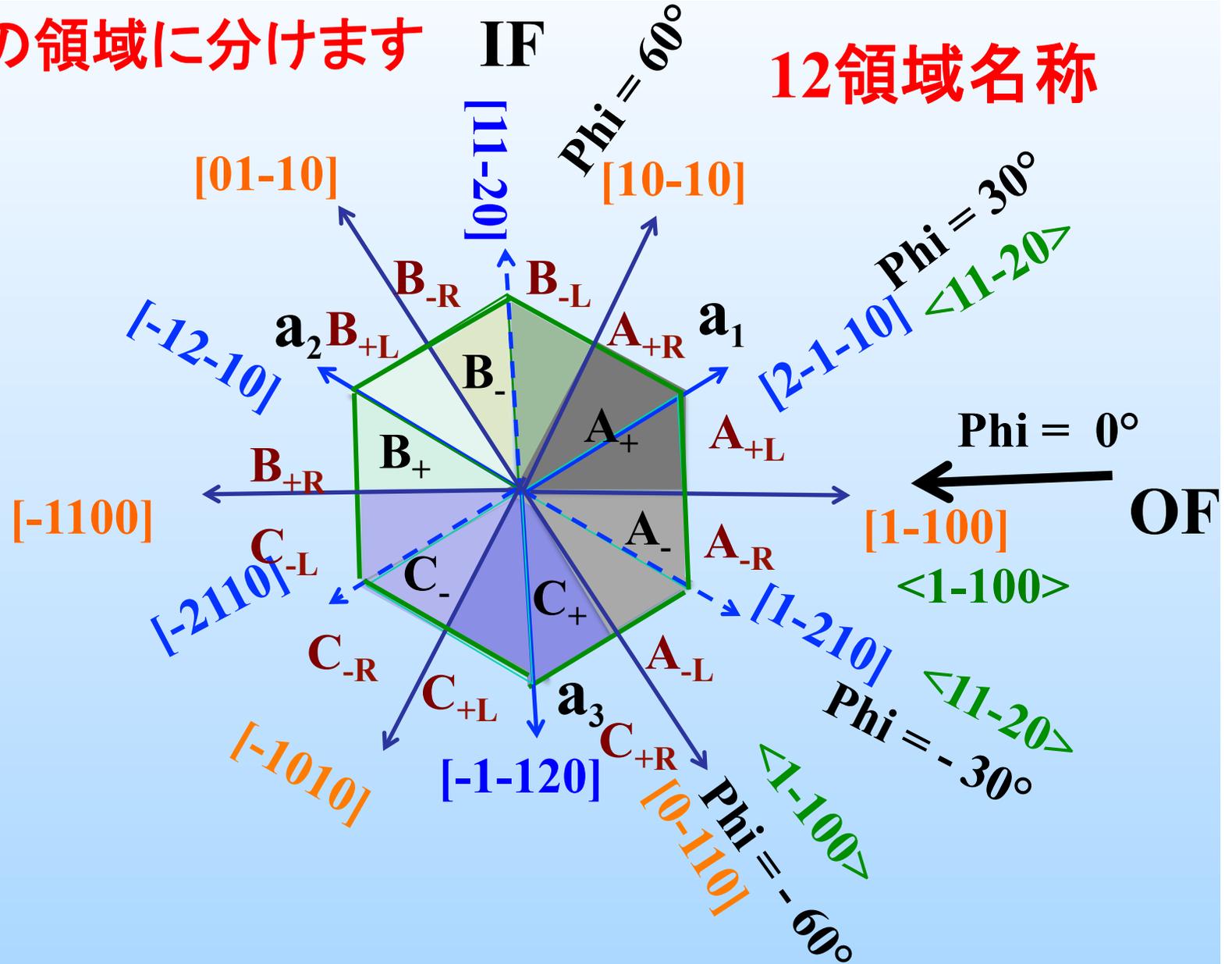
IRE Laboratory

基板を30°の12の領域に分けます
LとRは回反

<11-20>方向±30°

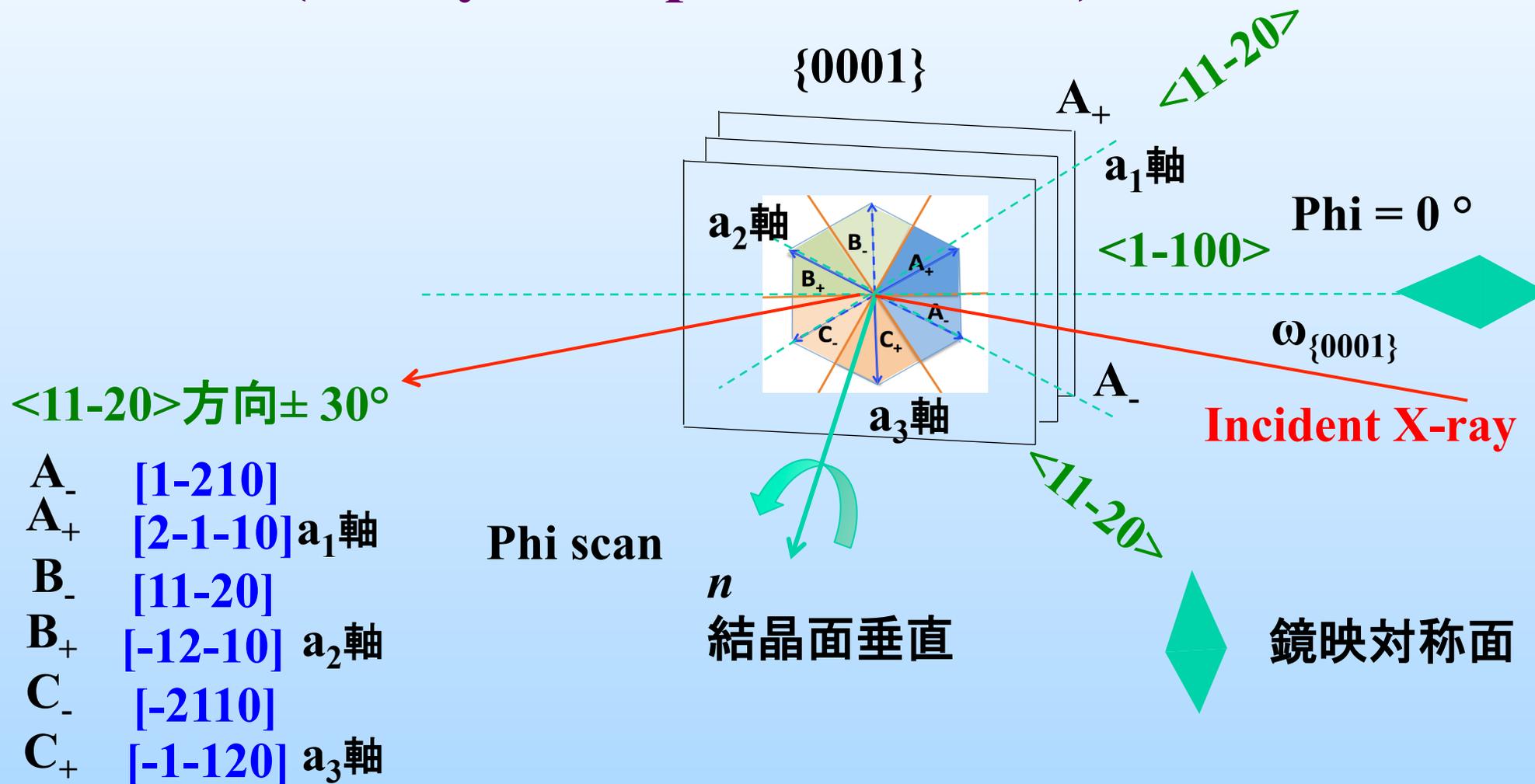
- A₋ [1-210]
- A₊ [2-1-10] a₁軸
- B₋ [11-20]
- B₊ [-12-10] a₂軸
- C₋ [-2110]
- C₊ [-1-120] a₃軸

12領域名称





XRMD (X-Ray Multiple Diffraction) 設定

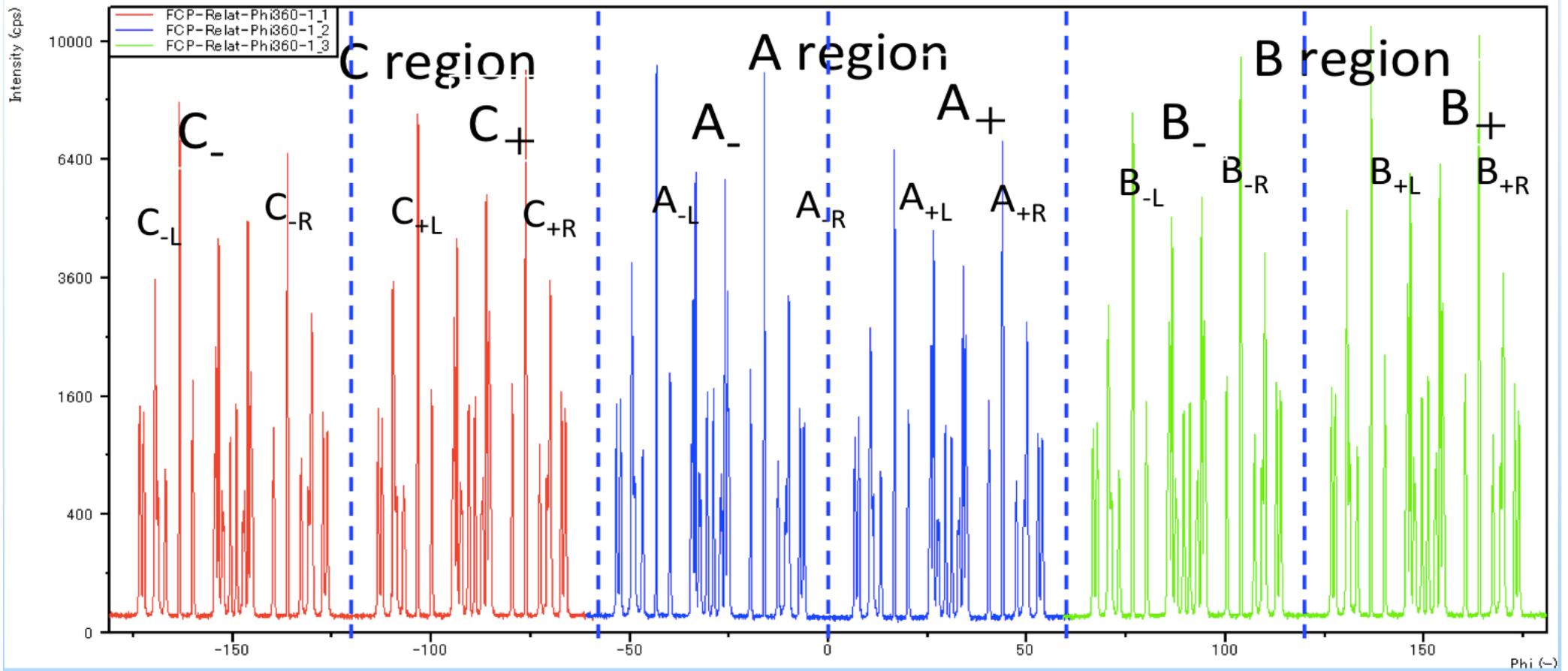


多重回折360°ピーク



GaN

平方根表示



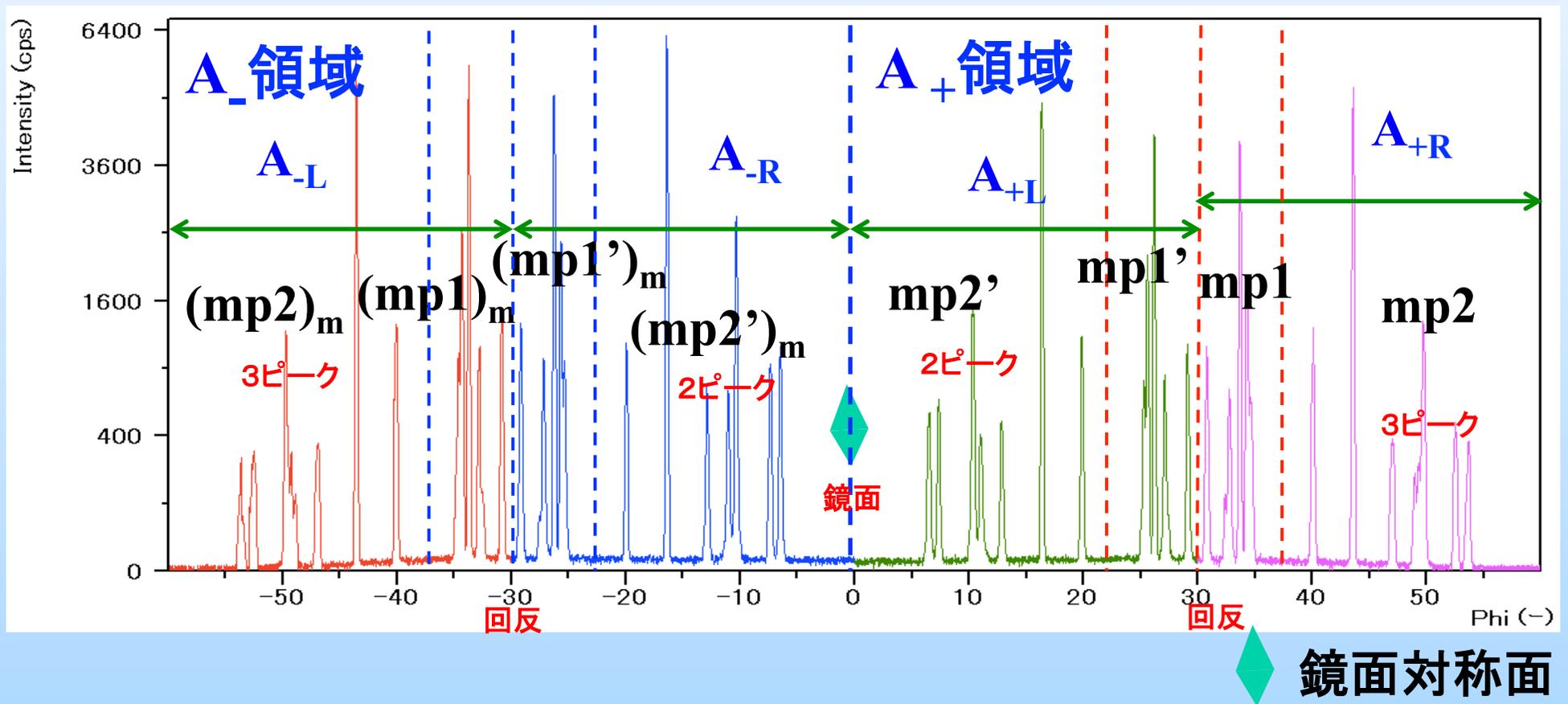
多重回折120°ピーク



多重回折

GaN

A領域120°基本ピーク 平方根表示



多重回折60°ピーク A_+ 領域

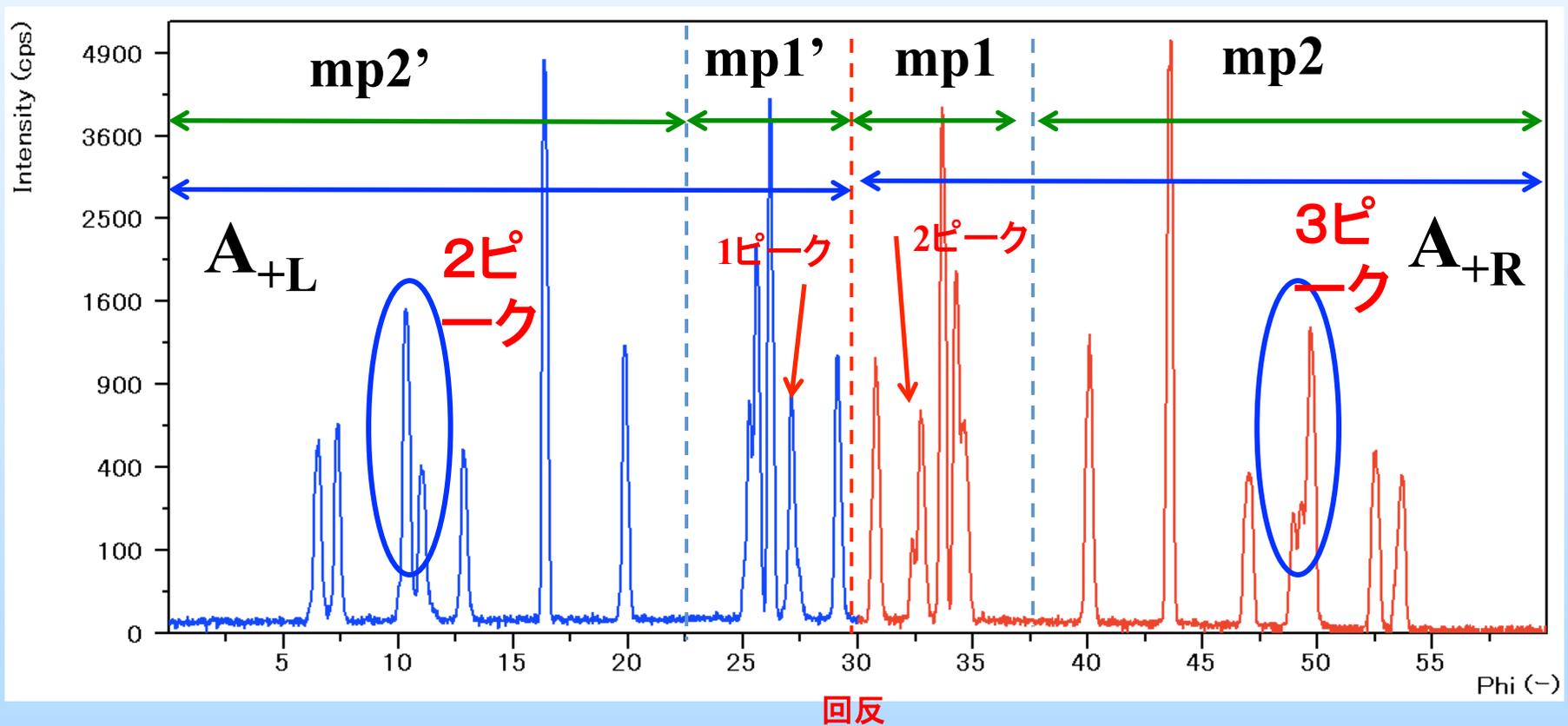
JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

多重回折
60°基本ピーク(A_+ 領域: $0^\circ \sim 60^\circ$)

A_+ 領域 GaN



多重回折60°ピーク A_領域

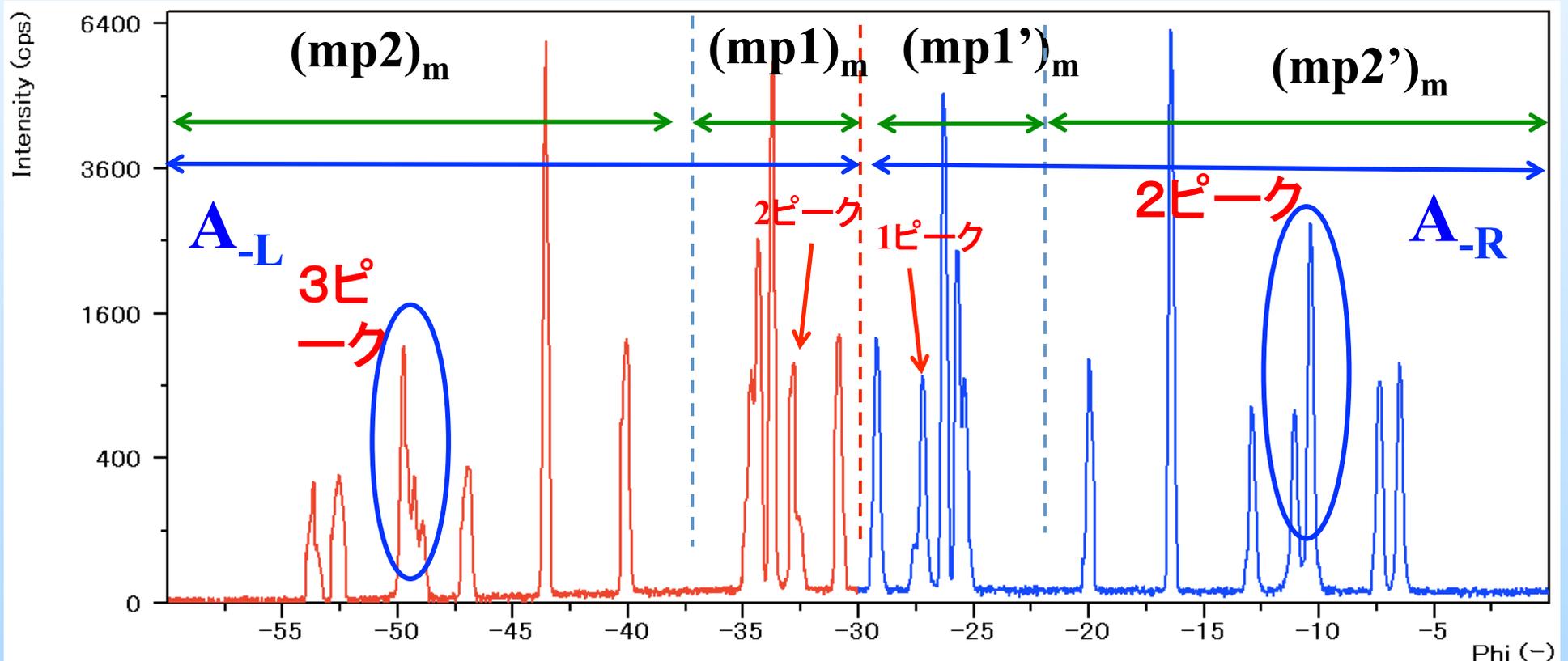
JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

多重回折
60°鏡映ピーク(A_領域: -60°~0°)

A_領域



多重回折30°ピーク A_{+R} 領域

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館

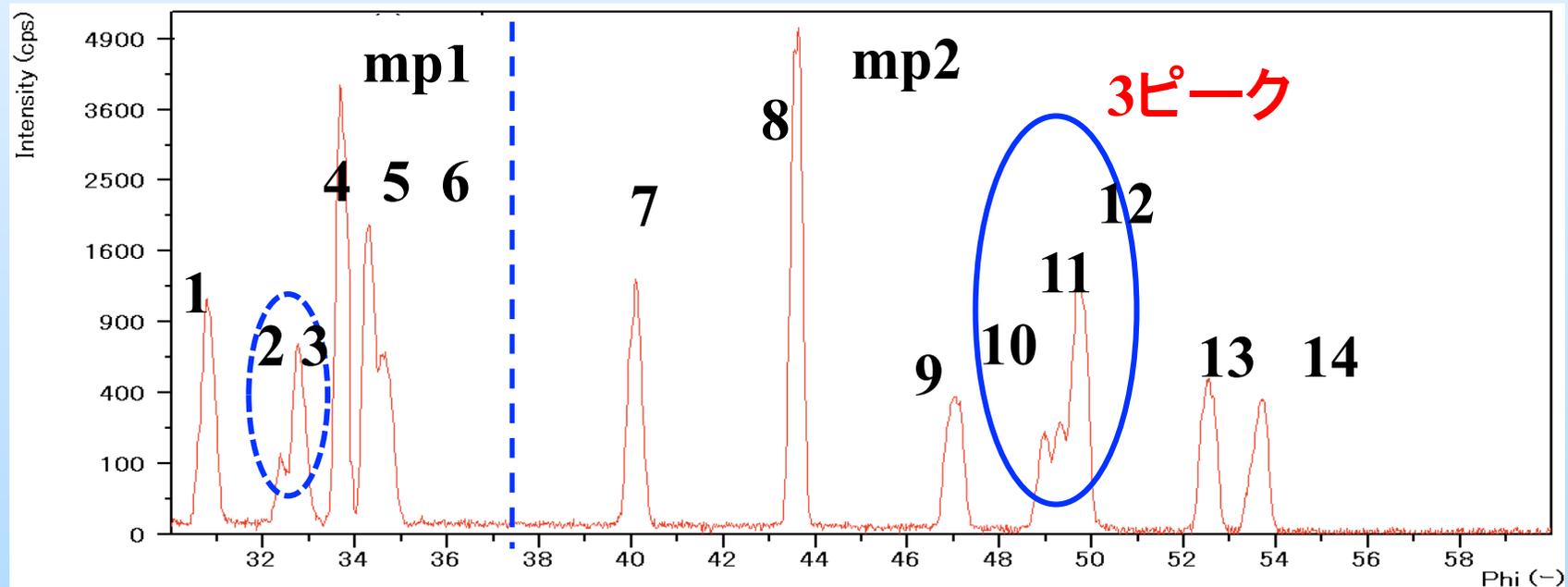


IRE Laboratory

多重回折
30°**基本**ピーク(A_{+R} 領域 : 30°~60°)

GaN

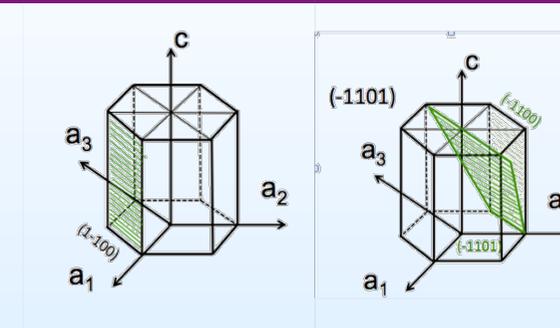
A_{+R}



GaN 多重回折強度



Peak No.	Indexed Peaks by Blasig & Krost	Phi [degree]	Relative Intensity [%]	refraction type
1	P1	0.87	15.0	$(3-1-10)/(-3211)$
2		2.47	11.5	
3	P2	2.87	2.6	$(3-1-2-2)/(-3123)$
4	P3	3.81	60.8	$(1-10-1)/(-1102)$
5		4.45	34.4	
6		4.73	13.3	
7	P5	10.15	24.1	$(02-21)/(0-220)$
8	P6	13.65	100.0	$(1-100)/(-1101)$
9		17.13	11.9	
10	P7	18.99	12.1	$(12-33)/(-1-23-2)$
11		19.3		
12	P8	19.67	46.0	$(01-13)/(0-11-2)$
13	P9	22.67	15.5	$(3-120)/(-31-21)$
14	P10	23.55	19.3	$(02-23)/(0-22-2)$



(1-100)

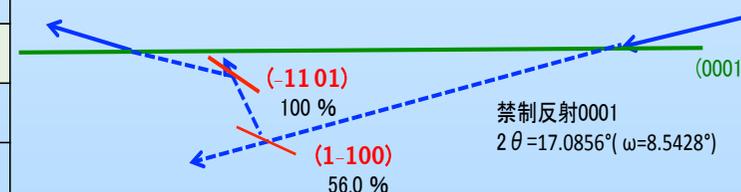
(-1101)

多重回折の強度100%の一番強いピーク

8_peak $(1-100)/(-1101)$

Bragg反射の56.0%強度は c の $2\theta = 32.388^\circ$
($\omega = 16.194^\circ$)ピーク 01-10 反射

Bragg反射の100%強度は c の $2\theta = 36.853^\circ$
($\omega = 18.427^\circ$)ピーク 01-11 反射



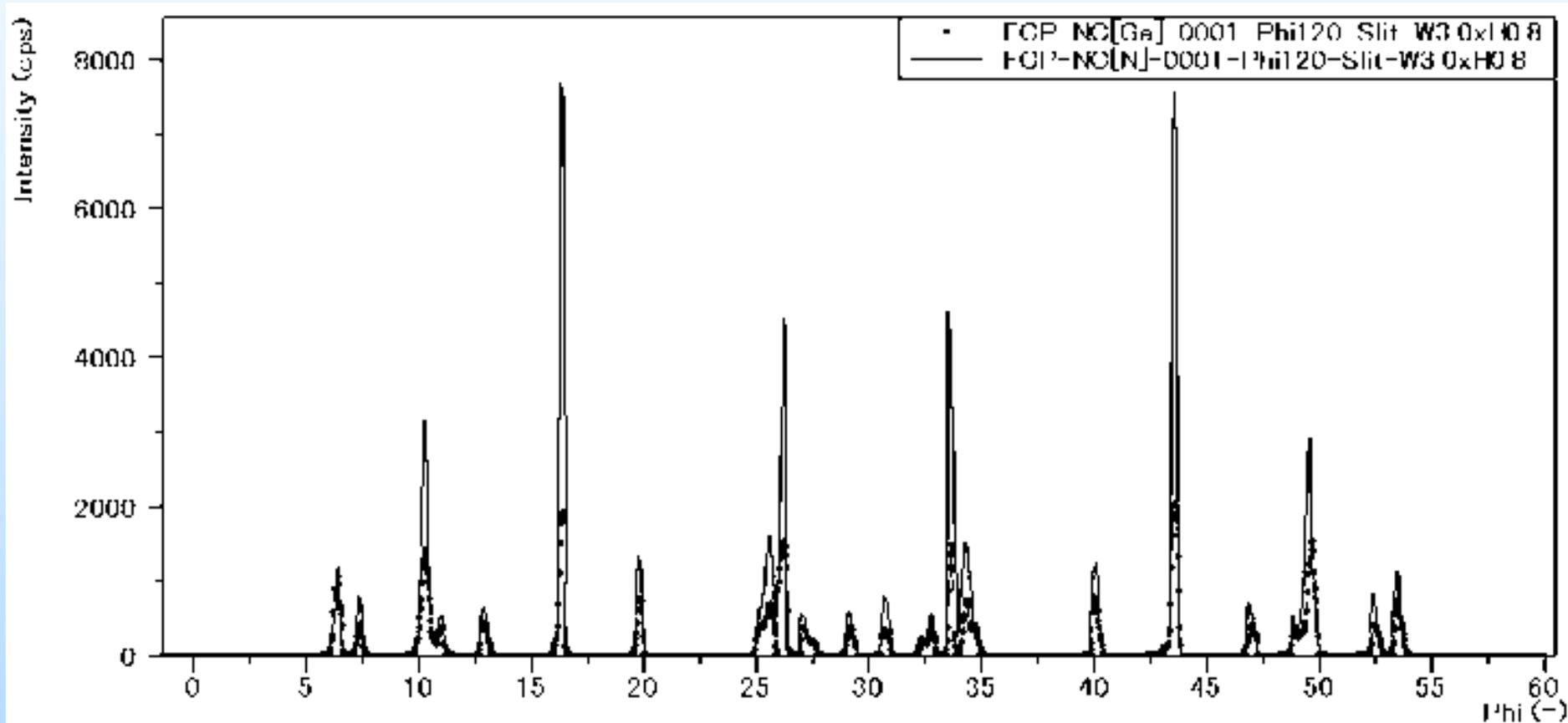
Renninger Scanパターン強度は結晶内部の複数結晶面による多重回折のため, GaN基板の結晶性の評価に有効に利用できる.

GaN [Ga]&[N] 極性

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory



**Fig.3 GaN [Ga] &[N] Renninger
Scan Pattern 0-60 °.**

GaN [Ga]&[N] 極性

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

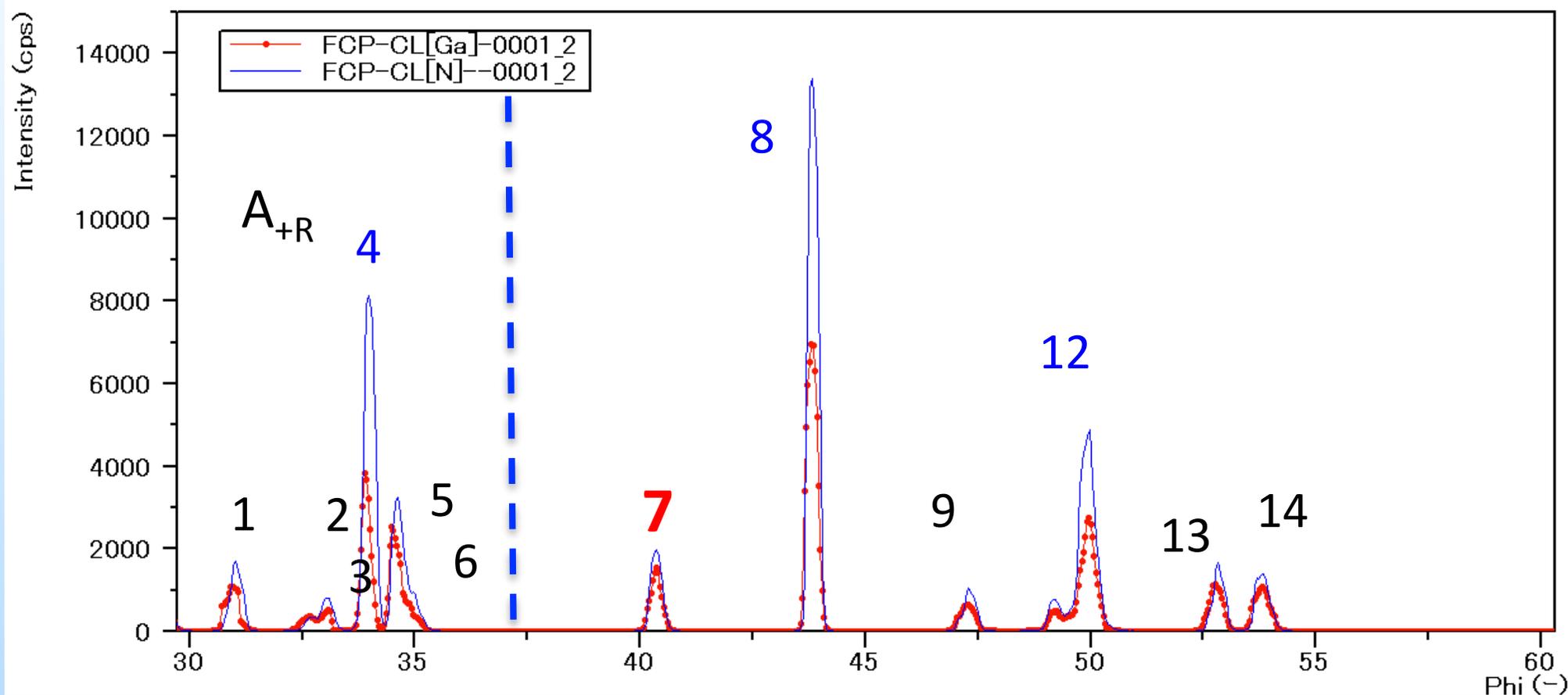


Fig.4 GaN [Ga] & [N] 30-60° 14 peaks.

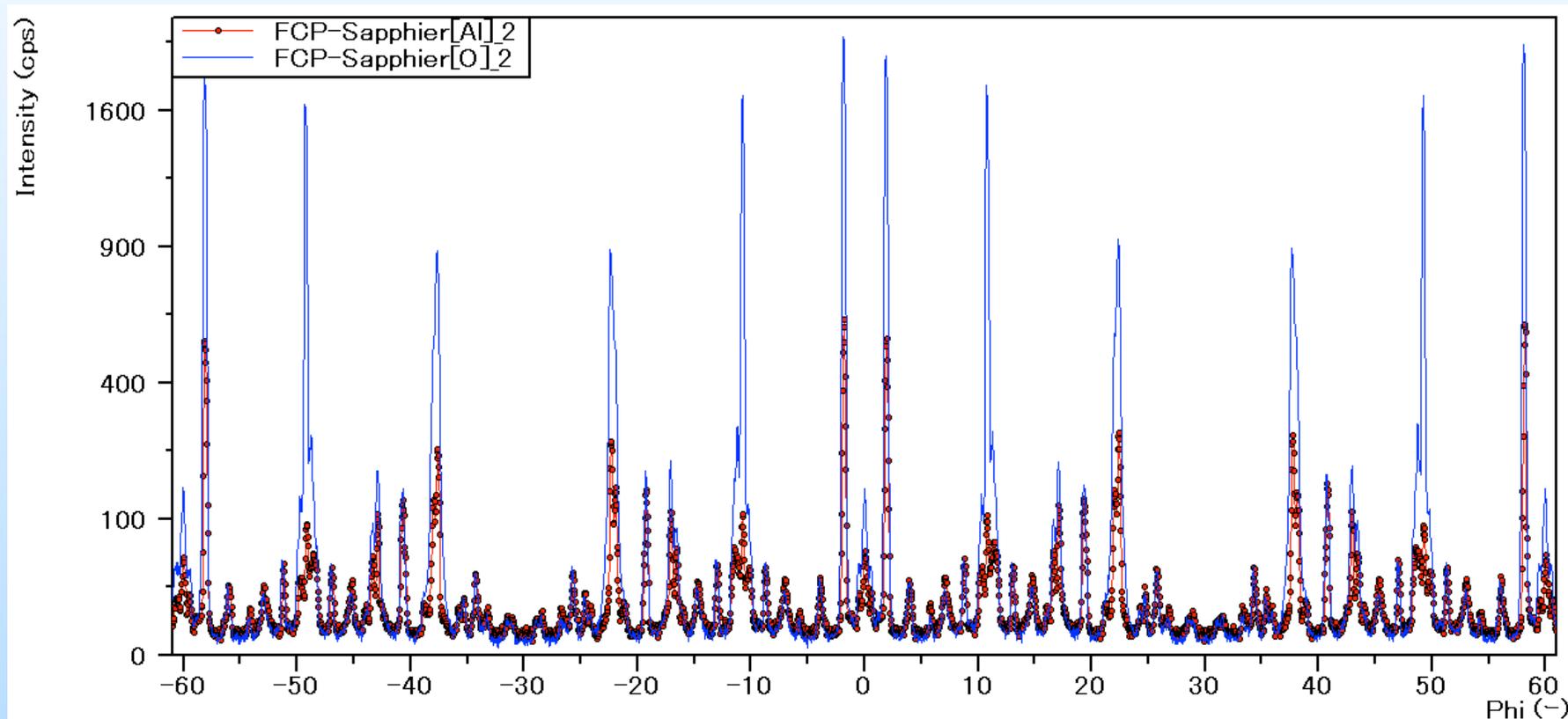


Fig.1 Sapphire[Al]&[O] Renninger Scan Pattern -60-60°.

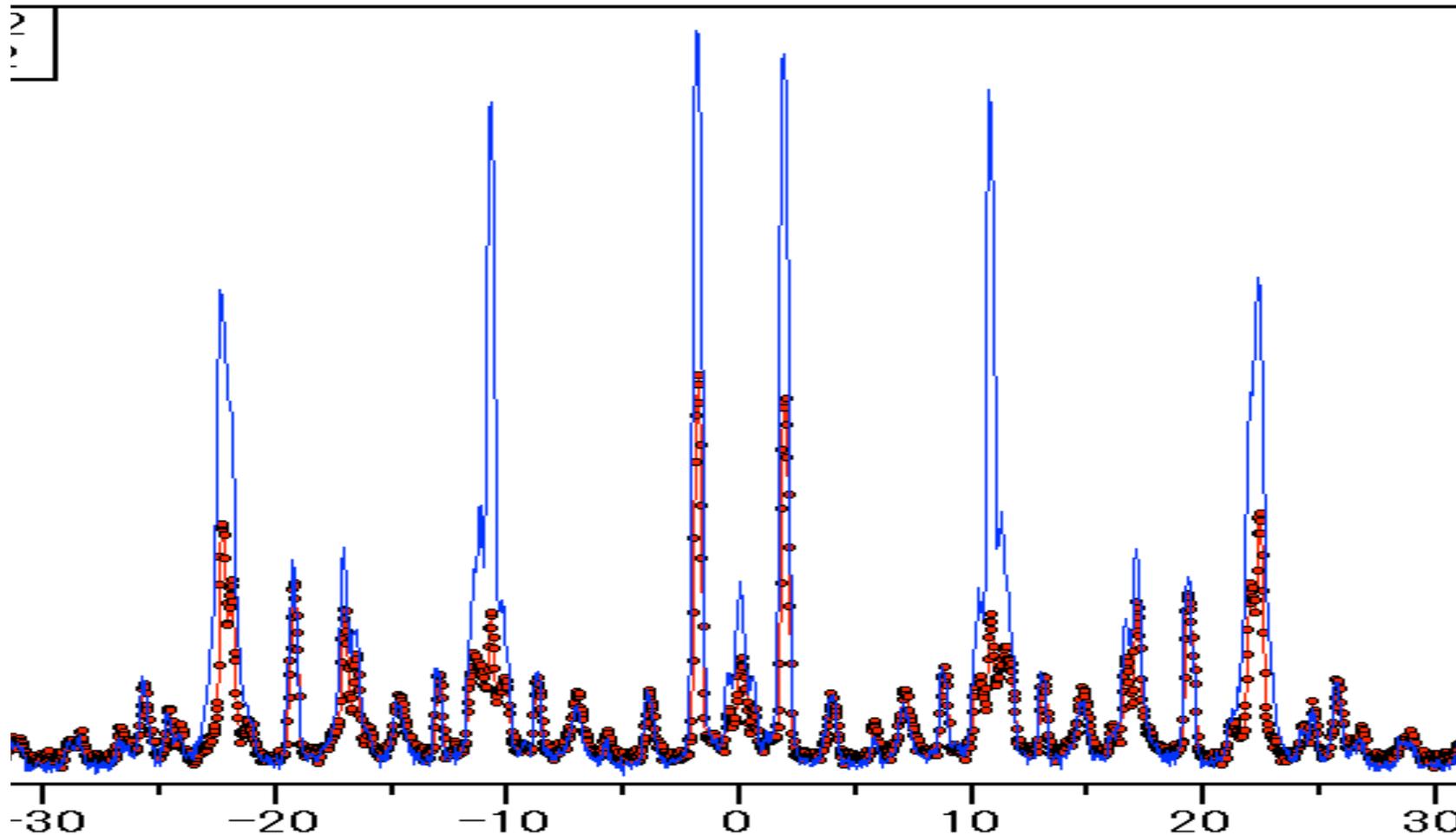
Sapphire[Al]&[O]

極性

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory



Sapphire[Al]&[O] Renninger Scan Pattern -30-30°.

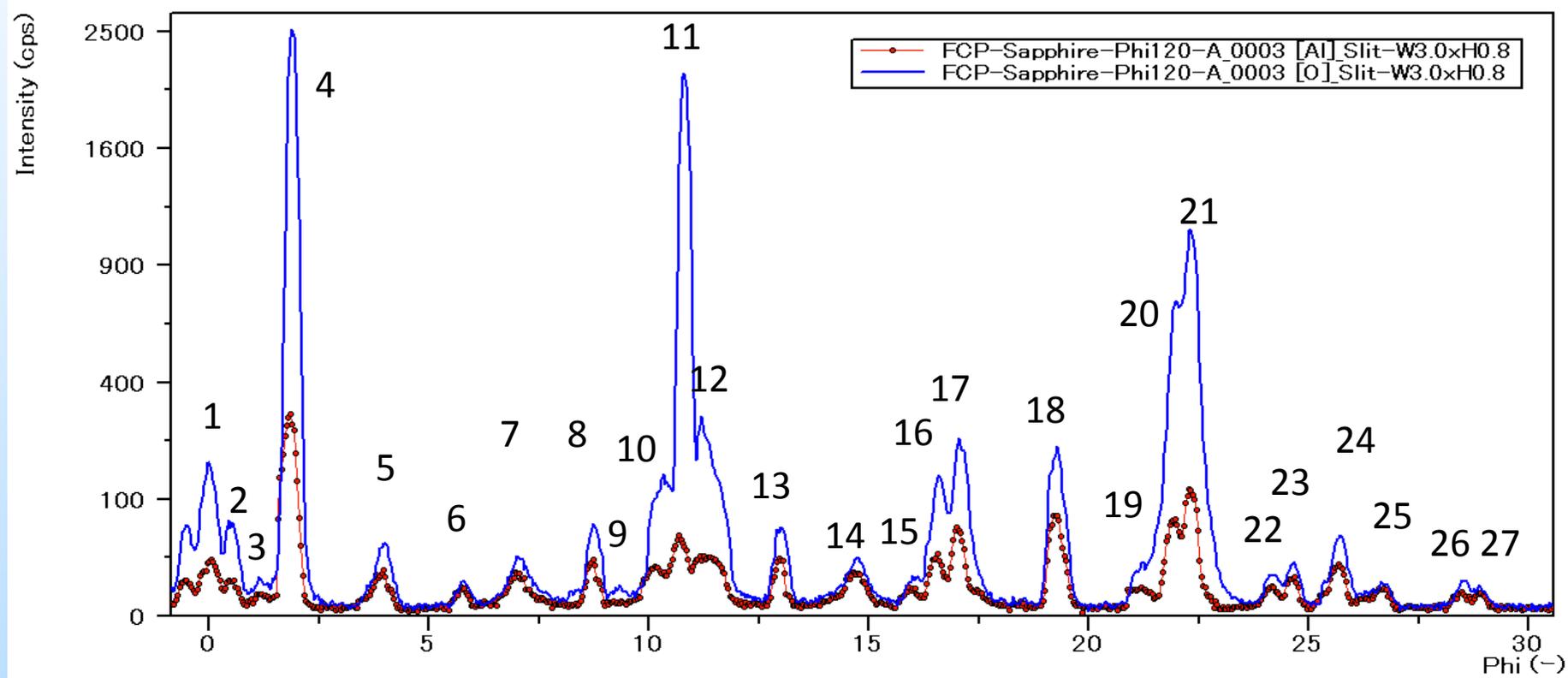
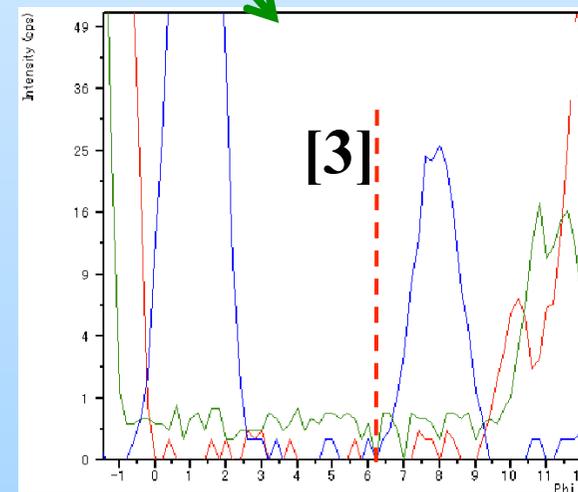
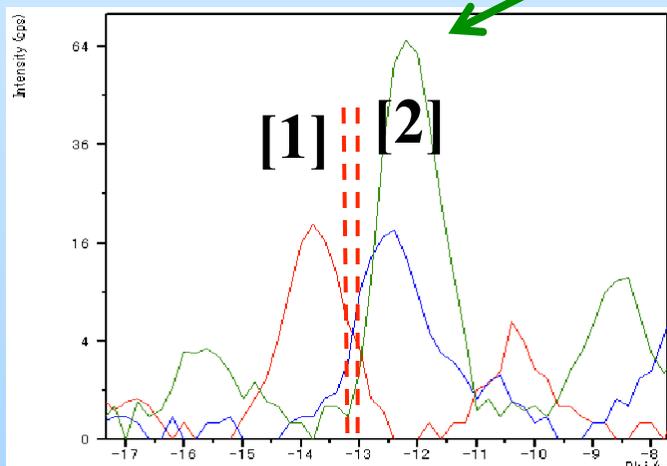
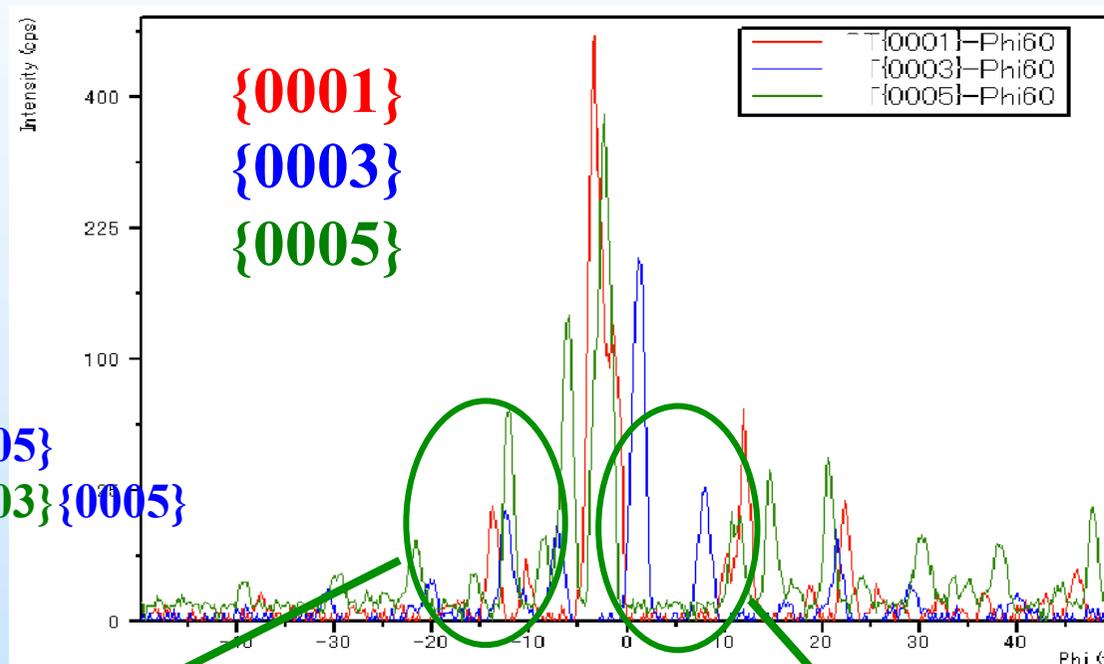


Fig.2 Sapphire[Al]&[O] 0-30° 27 peaks.

禁制反射 Phiスキャン (Line focus)



- [1] Phi : -13.3° {0001}{0005}
- [2] Phi : -13.0° {0001}{0003}{0005}
- [3] Phi : 6.2° non

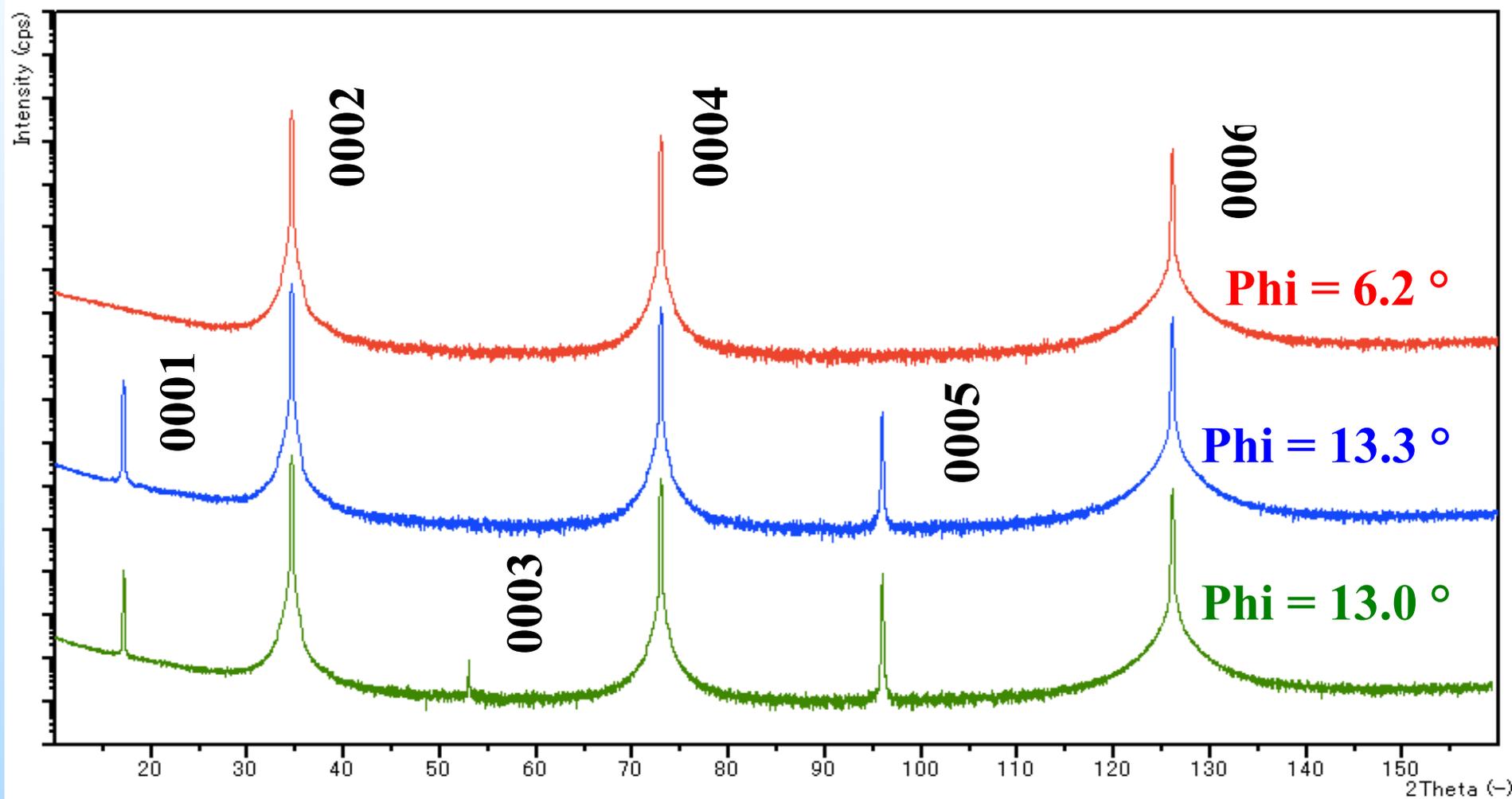


c面GaN単結晶の2θ-ωBragg回折ピークと禁制反射

JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory



GaN FCPパターンのX線波長依存性

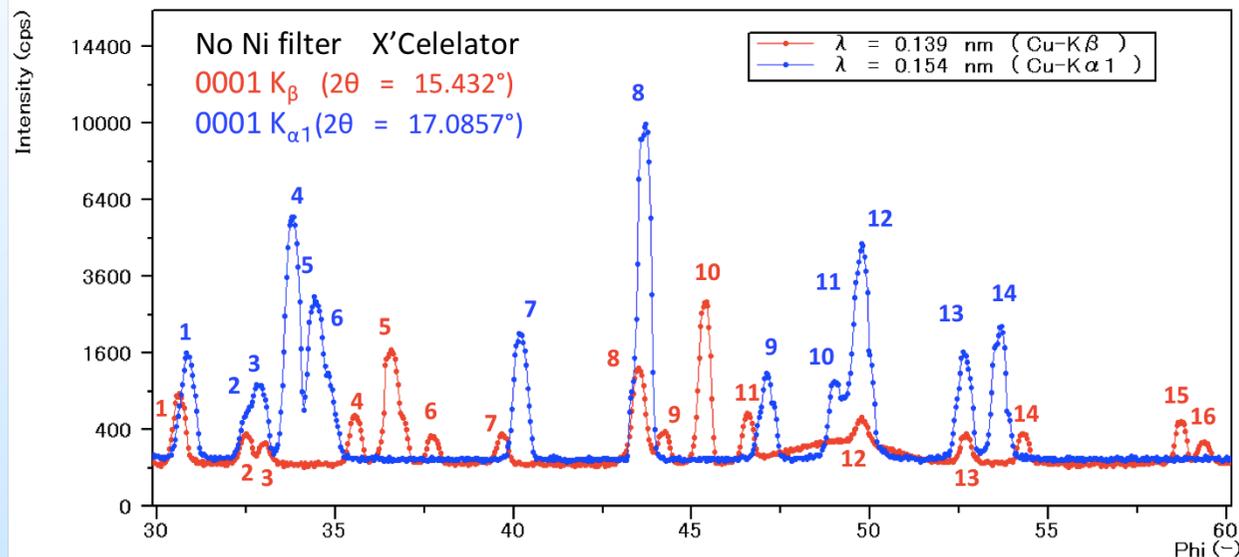
JCCG-47 第47回結晶成長国内会議
2018年10月31日, 仙台市戦災復興記念館



IRE Laboratory

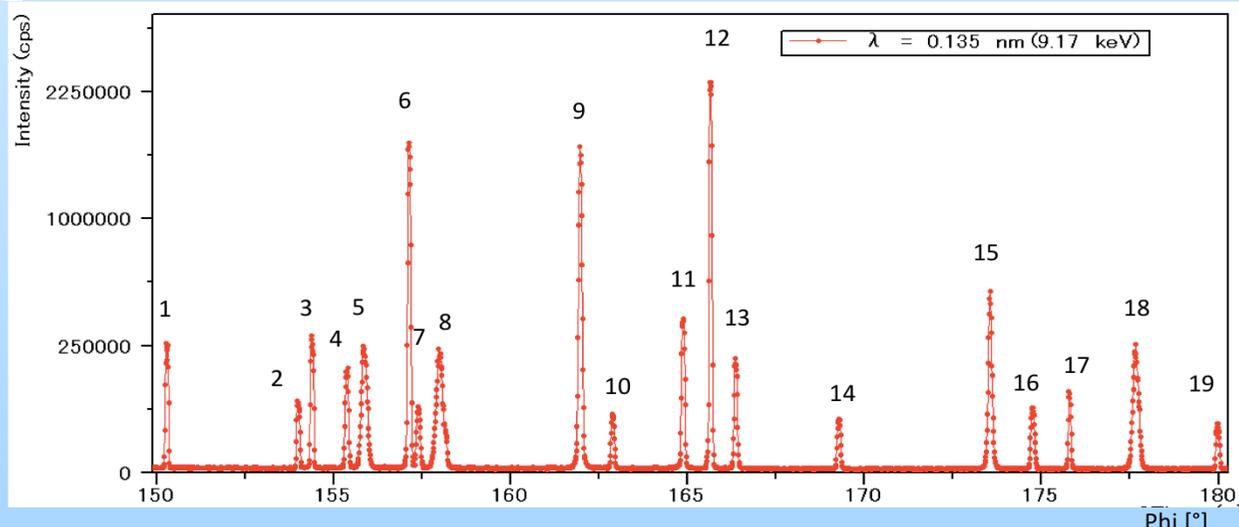
Cu-K α_1 と K β (Niフィルタ未使用)

平方根表



$\phi 30^\circ$ 基本領域のCu-K β (0.139 nm:16個)とK α_1 (0.154 nm:14個)によるGaN c面基板の0001禁制反射のFCPスキャンパターン

SR光



$\phi 30^\circ$ 基本領域のSR光 (0.135 nm: 19個)によるGaN c面基板の0001禁制反射のFCPスキャンパターン

謝辞:AichiSRの竹田美和所長, 砥綿真一氏のご協力に感謝いたします.



- Renninger Scanパターン(FCP スキャン)強度と多重回折角度は逆格子点とエバルト球との交点によるため平行X線の発散角、X線波長に依存する
- Renninger Scanパターン(FCP スキャン)強度は結晶内部の複数結晶面による多重回折のため、入射角度の小さな禁制反射での測定のため、**表面近くのGaN基板の結晶性評価**に有効である
- 極性面により構造因子が異なるために、結晶内部の複数格子面でのBragg回折による多重回折の強度に差が生じる
 - > 遠回り反射と呼ばれる禁制ブラッグ反射の位置に観察される強度が極性に依存するために**極性が判定**できた
- Renninger Scanパターン(FCP スキャン)強度はPhiにより急峻に変わるため、Phiを明らかにしない場合に結晶の設定角度により $2\theta - \omega$ の禁制反射が観測されるのに**偶然性**が入る