

光量子計測器開発部門の活動から



宇宙史研究センター

融合研究企画調整室

他の研究部門

光量子計測器開発部門

センター共有の光量子計測機器開発基盤+つくば地区連携拠点

筑波大およびつくば研究機関における理工学分野の密接な連携により、計測器開発に関する情報共有、融合研究、新しい計測器のアイデア創出、計測機技術の産業社会への応用を推進

構成教員: 原和彦(部門長)、江角晋一、武内勇司、金信弘、廣瀬茂輝、新田冬夢
連携教員: 西堀栄治、富田成夫、近藤剛弘、倉知郁生(D&S)、中村浩二(KEK)

超伝導検出器の開発、SOIピクセル検出器の開発、
新型半導体検出器の開発

連携

TIA-ACCELERATEの筑波大学拠点
つくば地区他機関との連携

エネルギー物質科学研究
センター各部門

TIA-ACCELERATE
光量子産業応用イニシアティブ

KEK測定器開発室
産総研 CRAVITY・3D集積システム

新田さんは離任済み
新任者を選定中

倉知さんは今年度限り
新任に山田美帆氏(都立産
技高専助教)に依頼中

TIA光量子計測テーマ: STJ/新型半導体(LGAD)/SOI
日米科学技術協力: (LGAD/SOI: 代表 中村)
日仏FJPPL: (LGAD: 代表 中村)

光量子計測器開発部門の活動から

各プロジェクトの概要（素粒子/原子核/宇宙部門報告も参照ください）



HL-LHC用シリコン検出器

文科省フロンティア事業に採択

LGAD+testbeam (SOI)

日米科学事業600万円x3年(2021~)

LGAD検出器

科研費B(原/中村) ; 1716万(2019-2023)

科研費B (中村/原) ; 1742万(2021-2024)

新学術公募 (中村) ; 1118万(2021~2023)

FJPPL(中村; 2021採択)



HL-LHC用シリコン検出器: (原/中村/廣瀬)

- ストリップ型センサー(KEK/筑波大)7月より3.5年間の量産を開始した。QC/QAを継続中
- ピクセル型モジュール(ATLAS-Jpn)今年度初期量産、量産2022-2025。センサー、モジュール化のQC/QA

Silicon-on-insulator検出器:(倉知/原)

- KEK AR-TBに設置する高位置分解能SOIPIXトラッカー (ELPHでのビームテスト)
- PDD構造の放射線耐性 (IEEE鈴木)

LGAD検出器 (中村/原)

- AC-LGADの開発 (Vertex中村; IEEE北; US-Japan Sympo北) : ELPHテストビーム、放射線耐性(CYRIC/高崎Co)

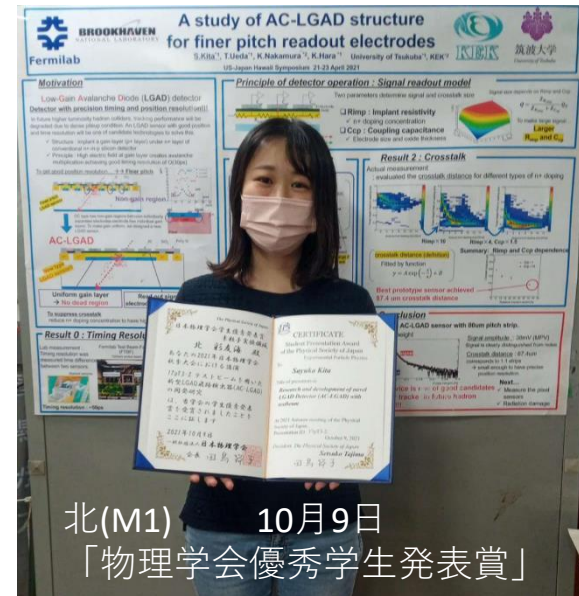
宇宙線によるFD燃料デブリ (原/金)

- 3号炉の結果をPTEPに掲載しすべて終了

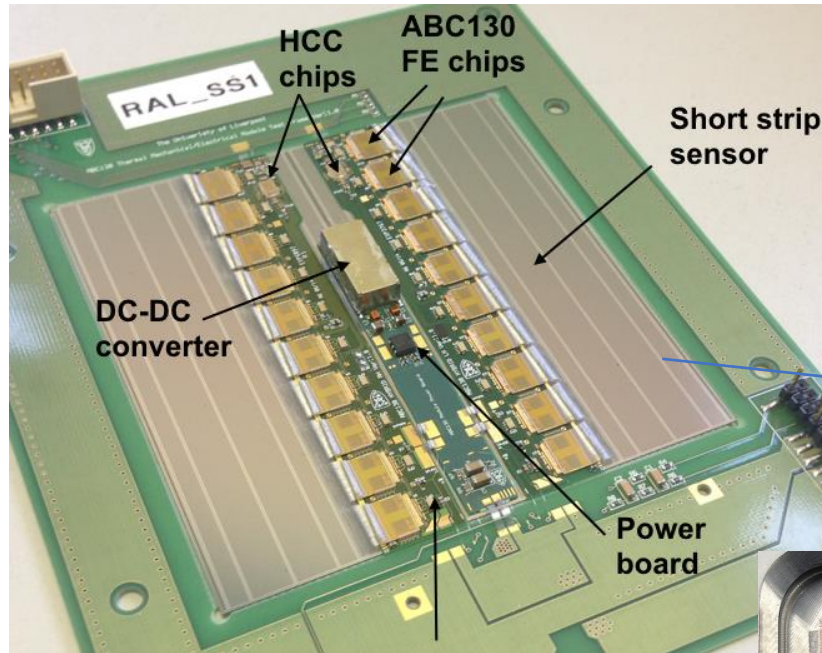
(西堀、表面物性TREMS) MYTHENによるハイスループット粉末回析測定

(近藤、表面物性TREMS) 単一構造体微細構造の高感度な精密分光手法 (FC-HSTS) の開発

紫外線照射で水素放出が誘起されるホウ化水素シートの研究:

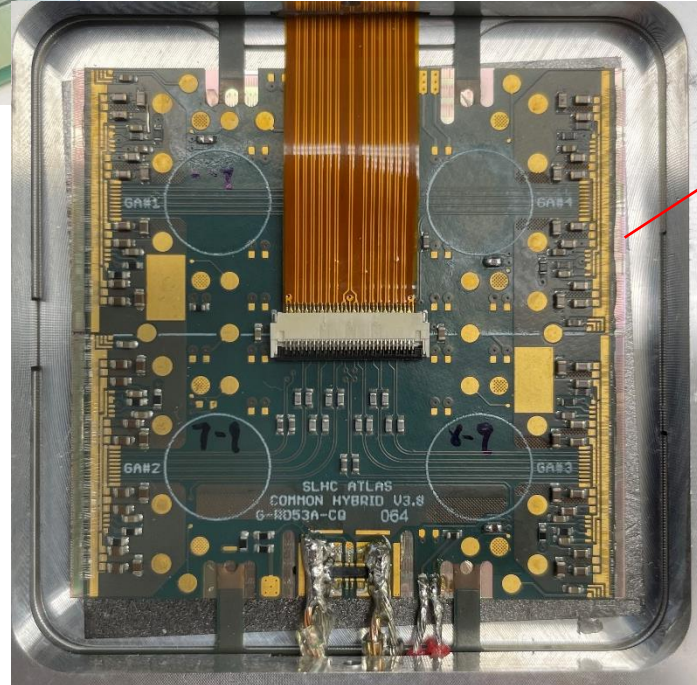
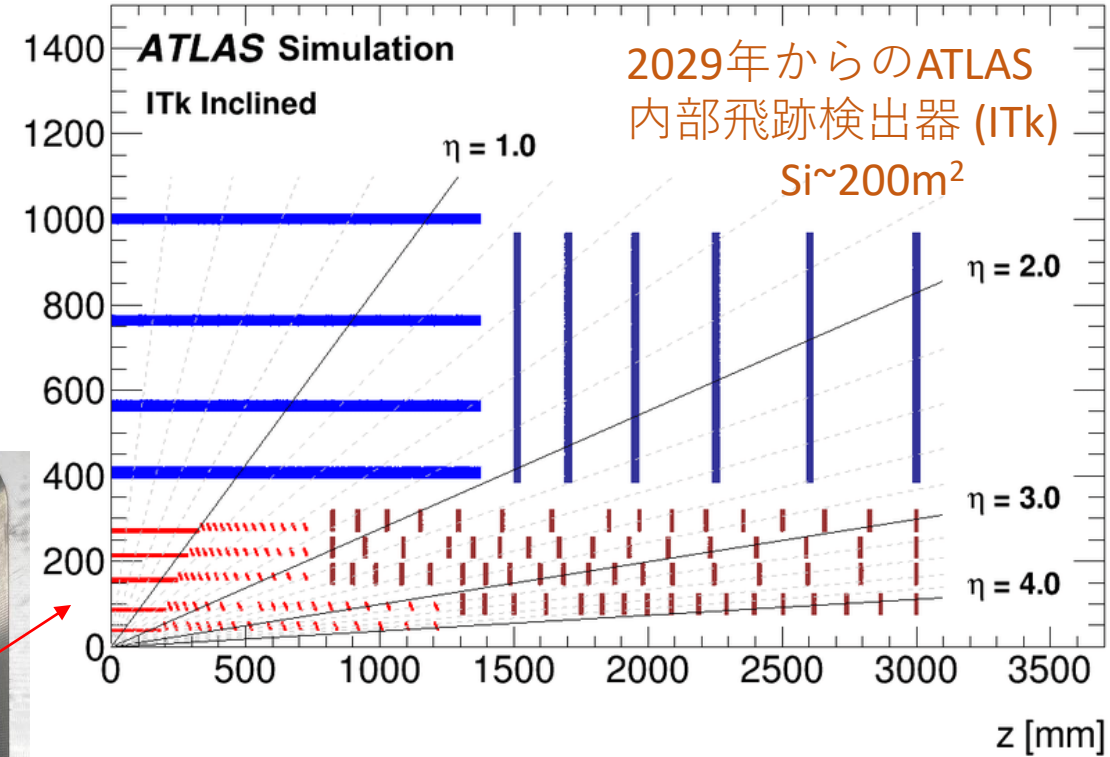


HL-LHC用シリコン検出器: (原/中村/廣瀬)



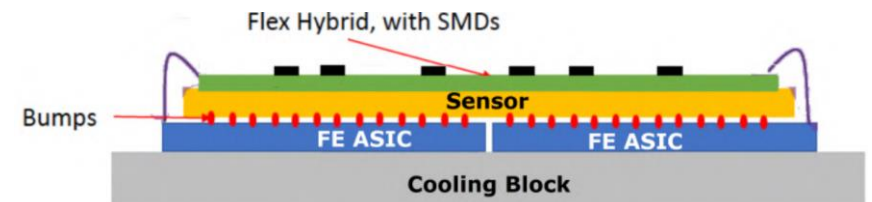
Strip型
barrel部センサー(10x10cm)
11,000枚x1/2を分担
<7月より量産開始>

R [mm]



Pixel型
L2-L4に設置するQUAD(4x4cm)
2,000台/10,000台を分担
モジュールFDR (3月予定)
センサー初期量産(2022夏)

センサー(HPK92%/Micron8%)
FC (HPK/T-micro)

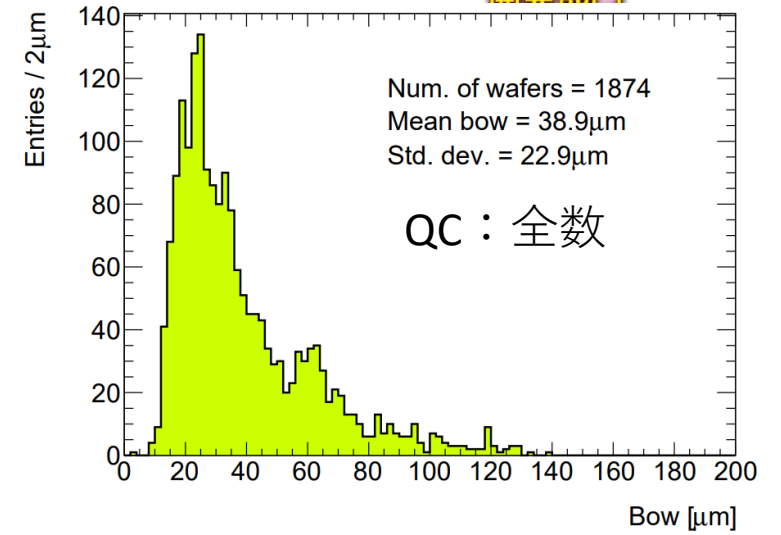
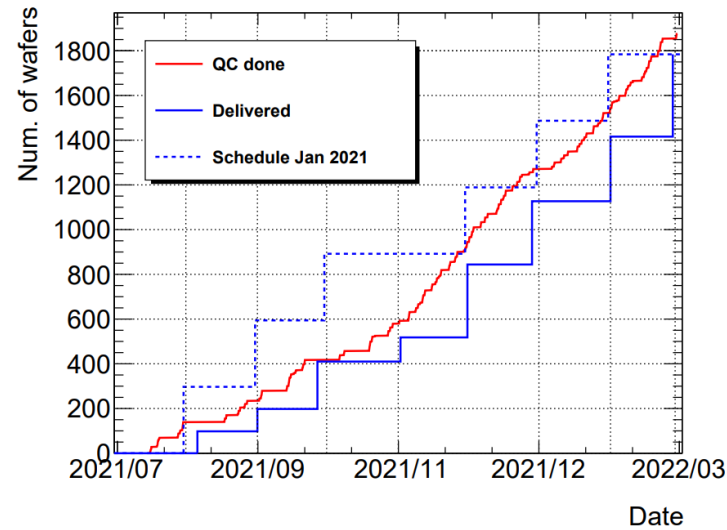


ITk ストリップセンサー: (廣瀬/原/中村)

齊藤(M2), 石井(M1), 倉持(B4)



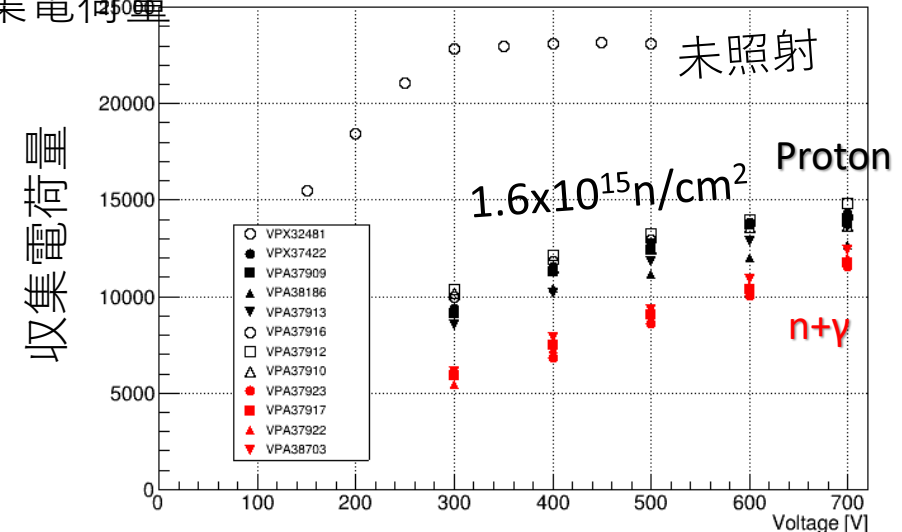
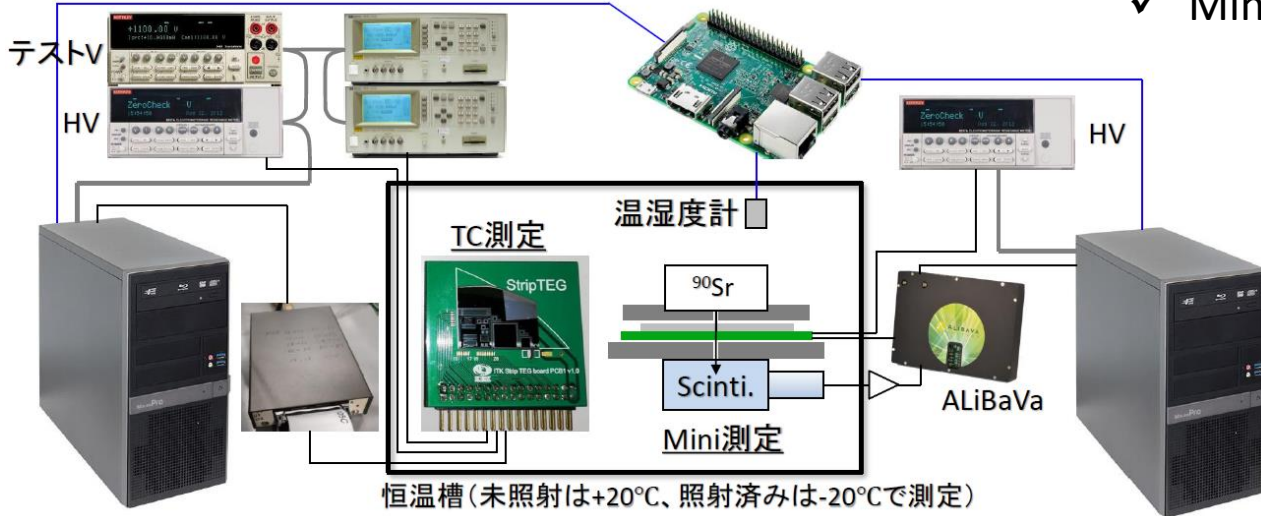
①HPKに形状測定装置を設置→QC



②東北大CYRICで照射試験→QA

QA: 1/batch

- ✓ TCで照射後の電気特性評価
- ✓ Miniで照射後の収集電荷量



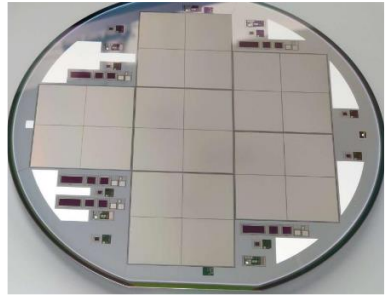
ITk ピクセルセンサー: (中村/廣瀬/原)

QCシステムの構築

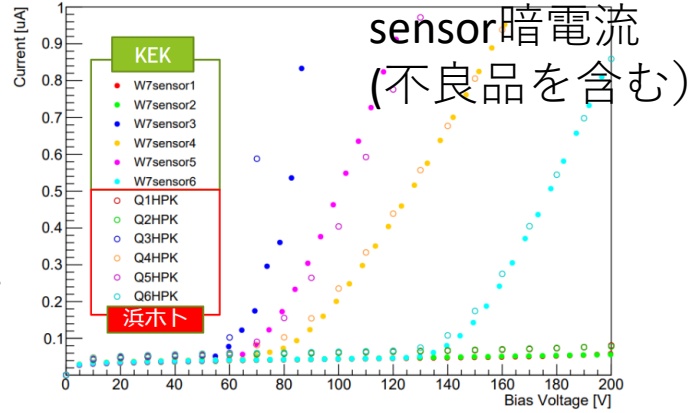
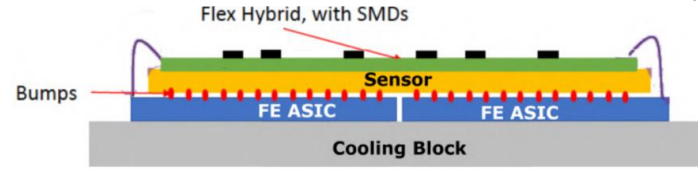
齊藤、村田(M2), 熊倉、飯坂(M1), 比江森、倉持(B4)



① bare sensor の試験



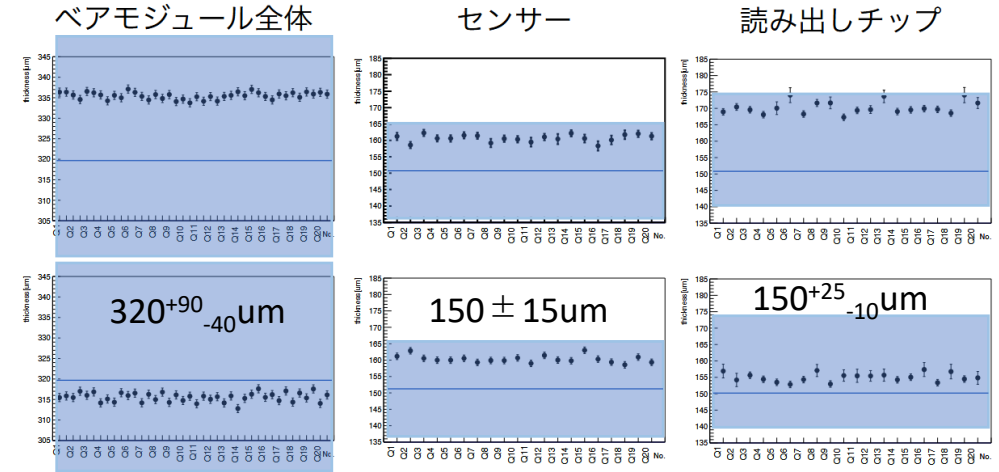
最終設計センサー (HPK)



② 形状測定 (試作40ベアモジュールの厚さ)

ITkpix-v1.0
20台

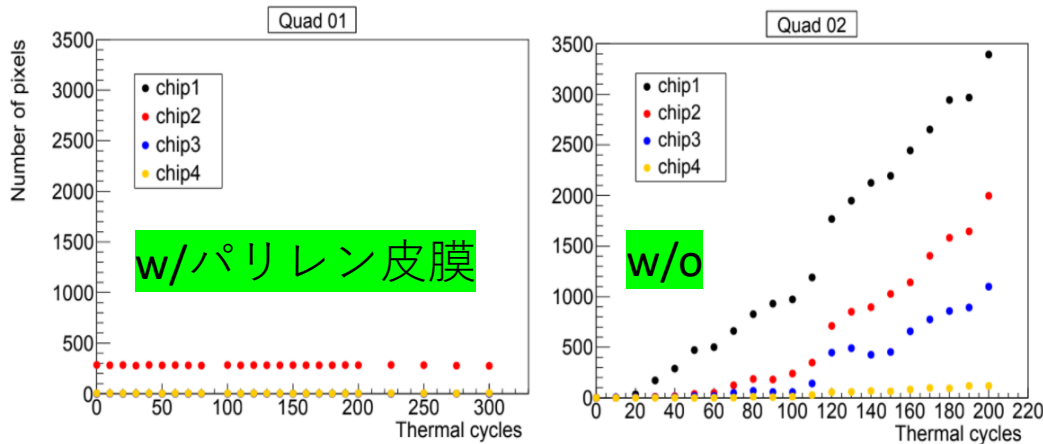
ITkpix-v1.1
20台



③ Bump耐性試験(w/ flex)

熱サイクル(-55~+60°C)

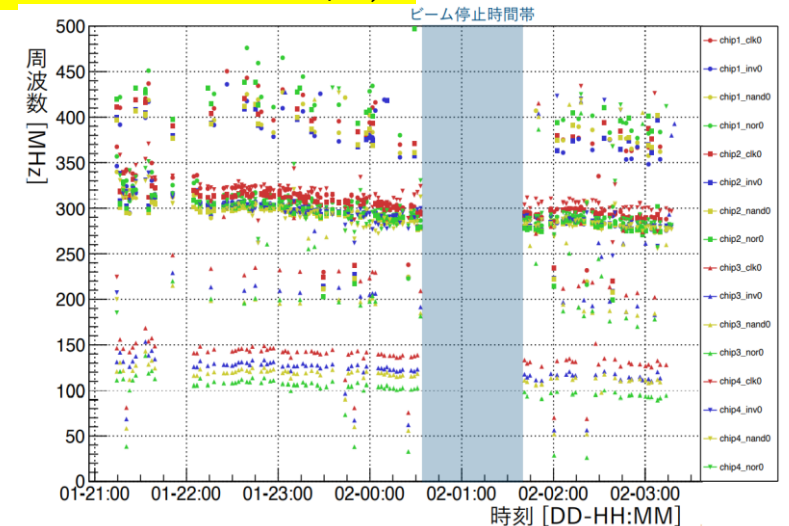
バンプリング剥がれ



→パリレン皮膜で十分な耐性が得られる

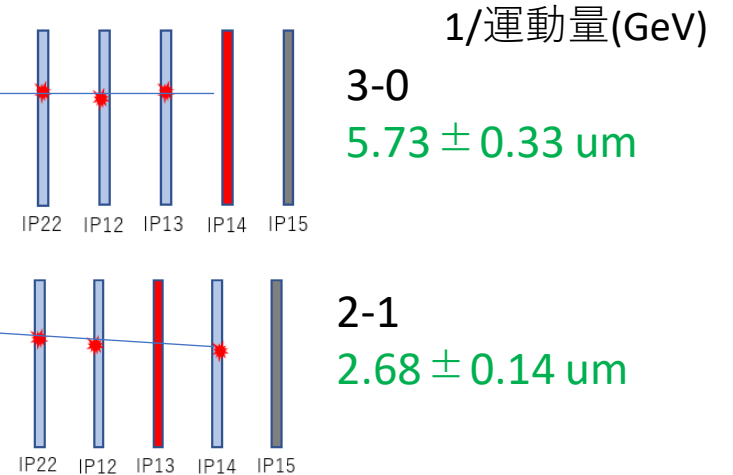
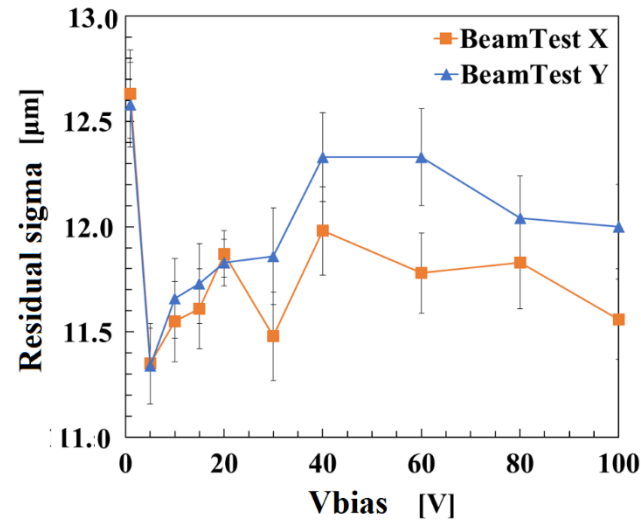
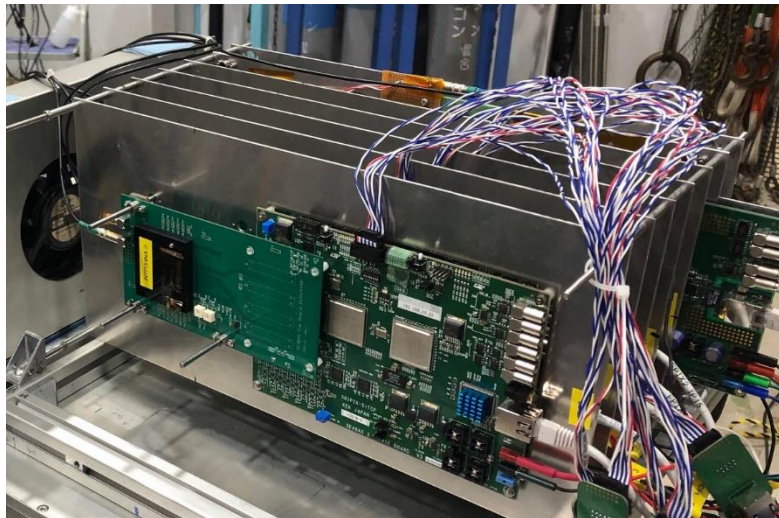
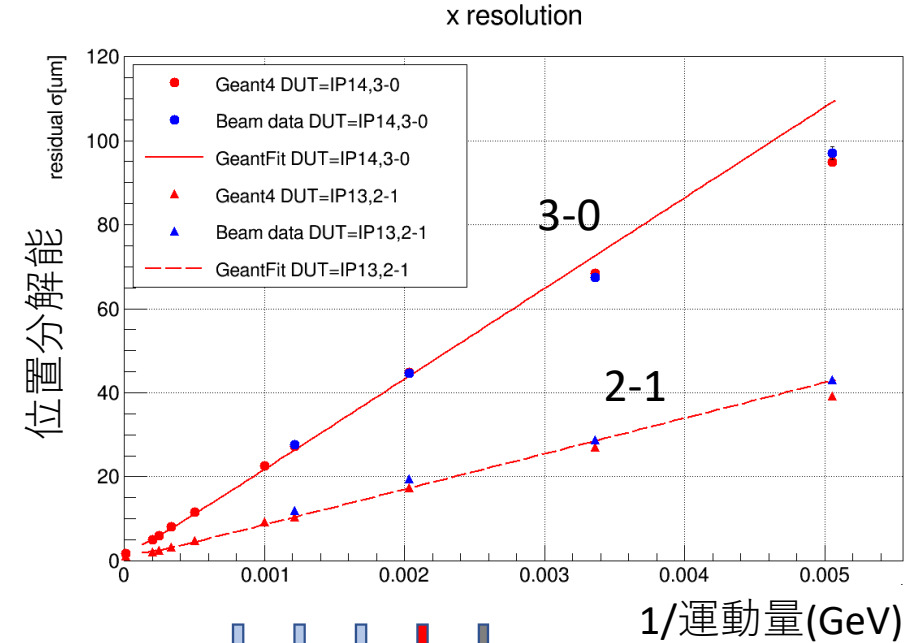
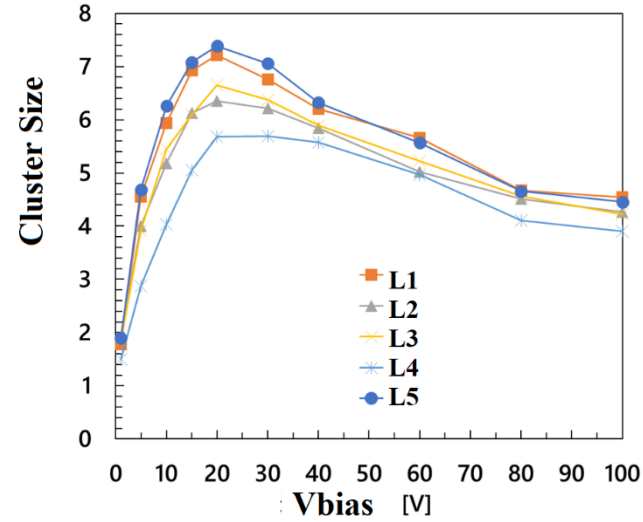
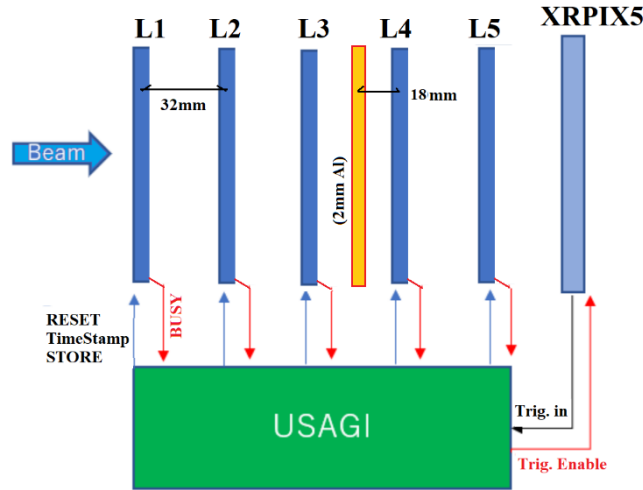
④ 放射線試験 (センサー耐性は評価済み、ASICを陽子線で評価)

陽子線を照射しながらASICの放射線耐性を調査(リングオシレータ)
 $6.3 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$
 →十分な耐性がある



SOI beam tracker: (原) 鈴木(M2), 大森(B4)

微細ピクセル(17 μ m角)、低質量のSOIセンサーを用いて \sim GeV電子ビームの高位置精度トラッカー

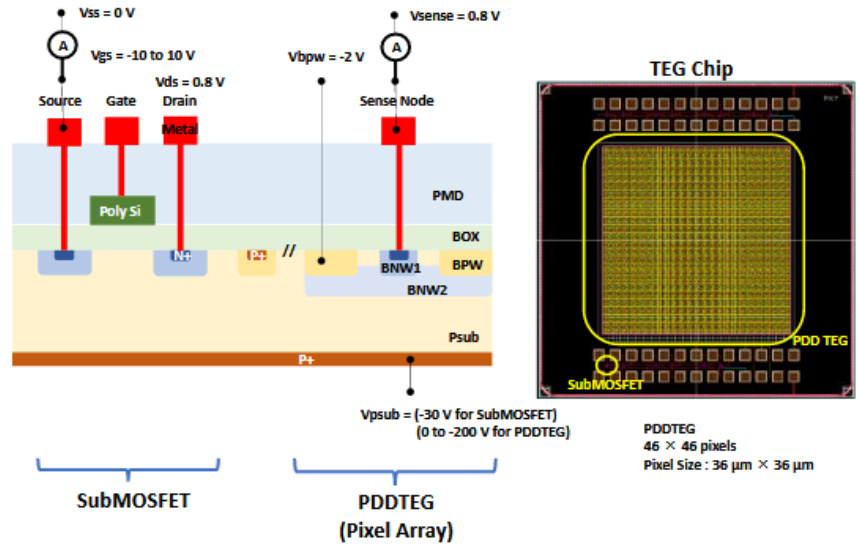


KEK AR-TB(5GeV e)での予想値

SOI PDD 放射線耐性: (倉知/原) 鈴木(M2)

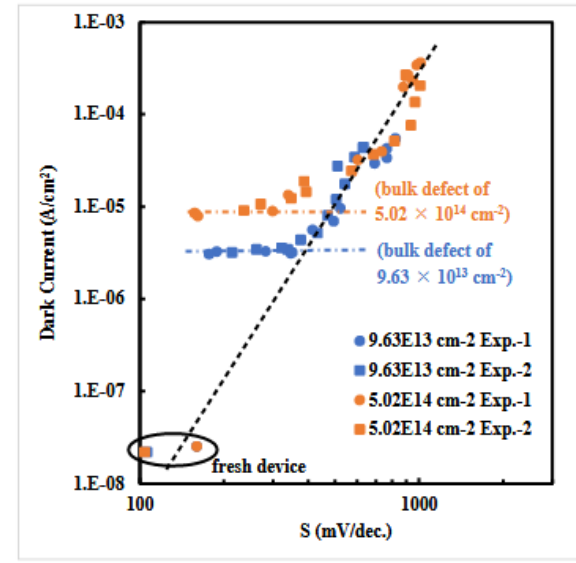
Pinned depleted diode構造

PDD-TEG



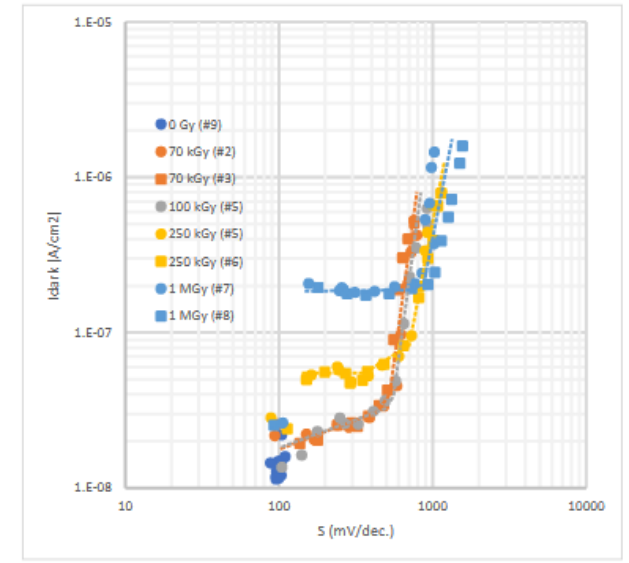
PDDピクセルアレイとBOX界面準位及びBOXチャージ評価Sub-MOSFET

陽子線照射

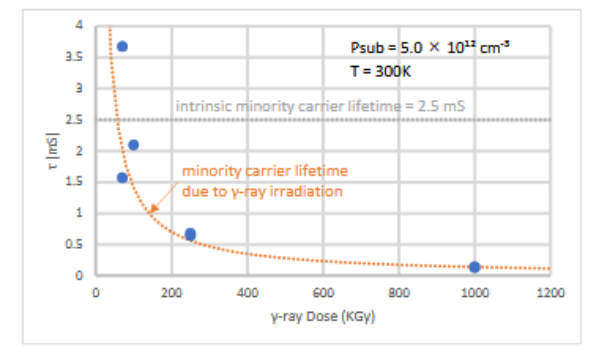
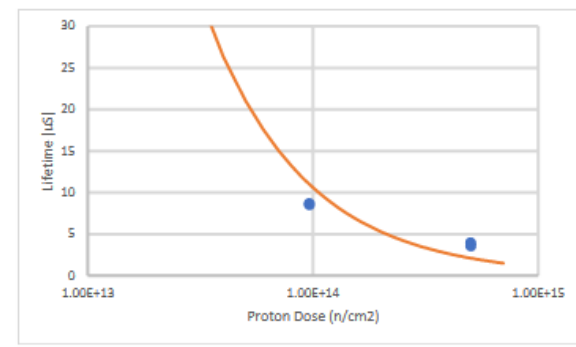
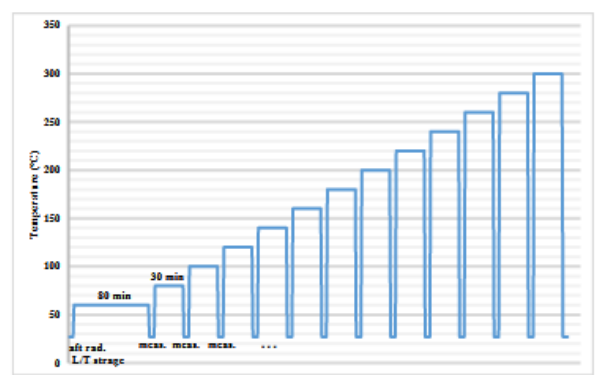


界面準位起因 (S値に依存)、バルク欠陥起因 (S値に依存せず) の暗電流成分を分離可能

ガンマ線照射



Isochronal Annealing

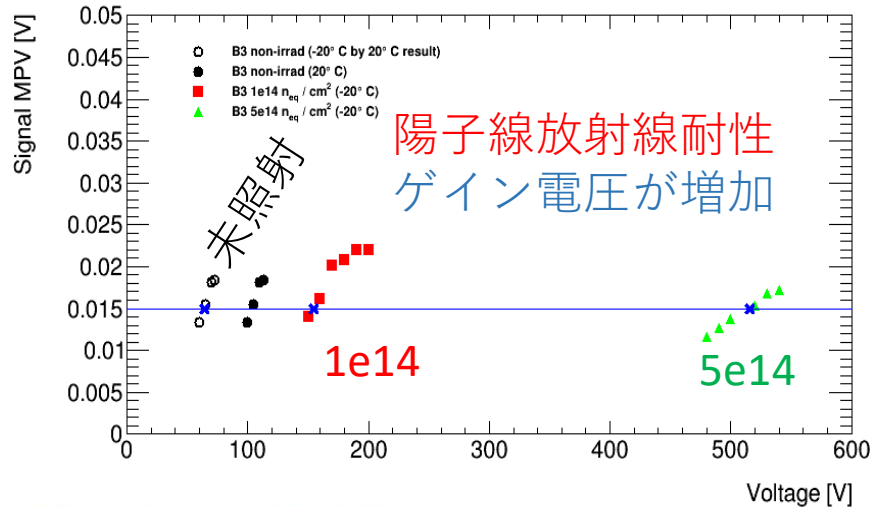
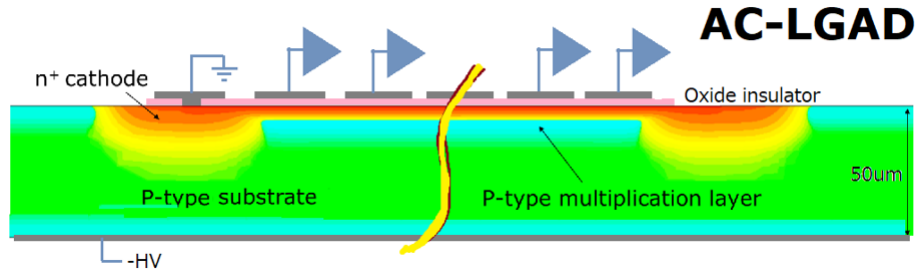


バルク欠陥でのキャリアライフタイムを同定

AC-LGAD: (中村/原)

植田(M2), 北, 五屋(M1)

時間分解能にも優れた飛跡検出器→4次元飛跡検出器



WaveRunner 8208HD
2GHz, 8ch, 10GS/s, 12bit

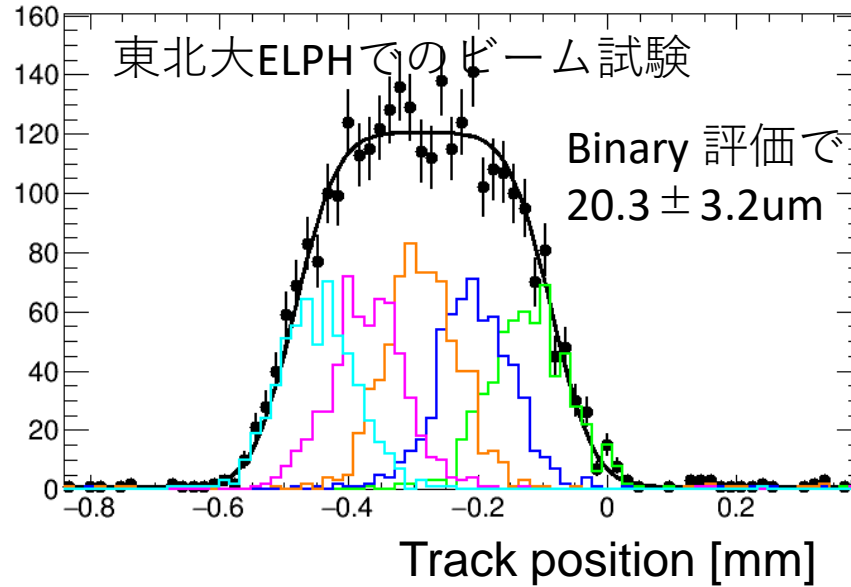


Katana HP laser
IR, T_{jitter} = 10ps



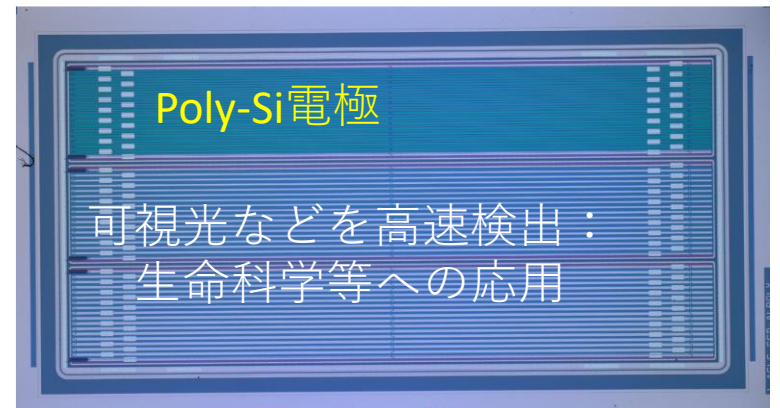
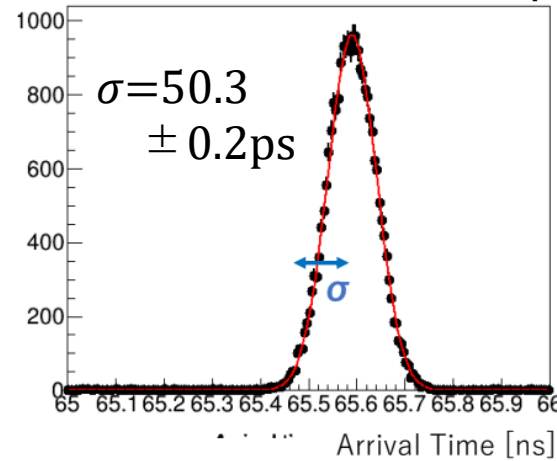
国内では唯一のグループ
米国(BNL/UCSC/FNAL)と日米協力

—米国はEIC用に開発



- FNAL TBで時間分解能 30psを達成。パッド型 (5mm□)でEIC用に十分な性能

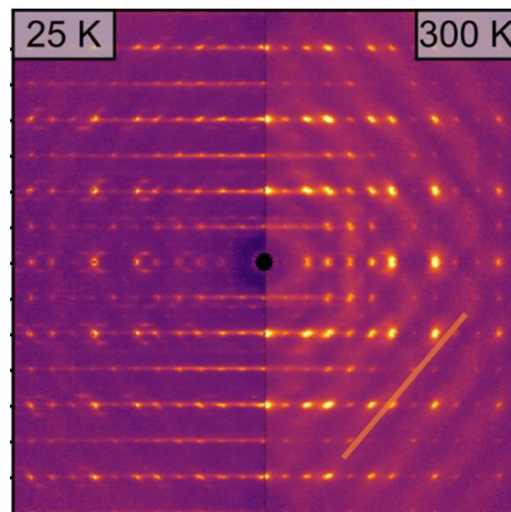
- 増幅層をさらに深くした 新型をHPKと共同開発



SPring8 長期利用課題 高エネルギーX線2次元検出器を用いた高度物質構造科学研究
代表：筑波大 西堀、メンバー Iversen (ユニット招致)

2019/4~2022/10 終了 2年間の予定がコロナ禍により半年延長

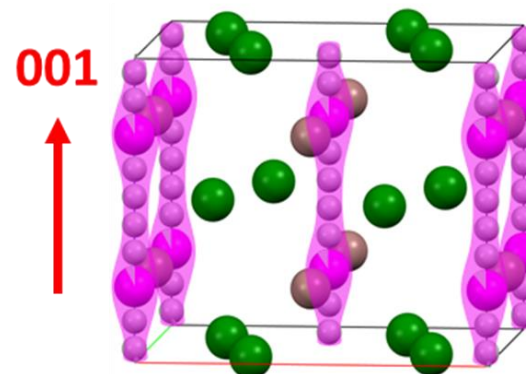
新しい検出器を使った主要成果



Single Crystal X-ray
Diffraction@SPring-8

A basis towards understanding
ultralow thermal conductivity

Maximum
Entropy
Method
&
3D Δ PDF



One-dimensional disordered
diffusion channel of InTe

InTe熱電変換材料のBragg散乱のMEM電子密度解析と散漫散乱の3次元差分二体分布関数解析の組み合わせによりInTe内の10%の原子がc軸に沿ったDisorder構造を示すことを発見した。微弱な散漫散乱が観測可能になったのは新しいCdTe検出器の成果である。(2021年11月筑波大、オース大でプレスリリース)

Dual Combを用いた新しい原子分解能の精密分光手法(ヘテロダイナルコム走査トンネル分光法)を確立し画像を得ており現在論文を仕上げ終え投稿を行う直前の段階にある

HBシートの基礎的性質の研究に関して別々のチームで東証一部上場企業7社と別々の共同研究を実施 (TREMSでの研究)

その他:ホウ素二次元物質関連論文 (TREMSでの研究)

- (1) J. Mater. Chem. A 9 (2021) 24631-24640 IF:12.732
- (2) Molecules 26 (2021) 6212. (11 pages)
- (3) Phys. Rev. Materials 5 (2021) 084007. (8 pages)
- (4) Communications Materials 2 (2021) 81. (8 pages) Nature 姉妹紙
- (5) Phys. Chem. Chem. Phys. 23 (2021) 7724-7734.
- (6) 「触媒技術の動向と展望」(触媒年鑑)(2021) 143-152.

その他:論文・著書 (TREMSでの研究)

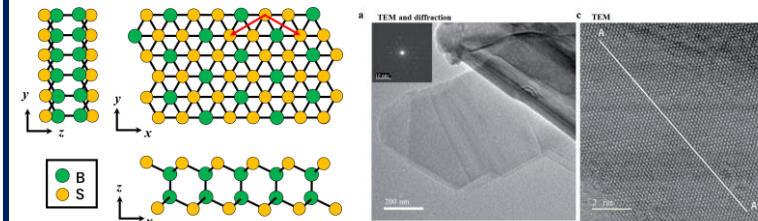
- (7) J. Hazard. Mate. 425 (2022) 127982. (11 pages) IF:10.588
- (8) 物理科学, この1年2022 42-46 (2022).
パリティ編集委員会編, 丸善出版, ISBN 978-4-621-30686-4
- (9) “水素”を使いこなすためのサイエンス ハイドロジェノミクス 3.4節, 78-87 (2022).
- (10) 図説 表面分析ハンドブック, (近藤:編集委員長)(2021).
日本表面真空学会 編, 朝倉書店, ISBN 978-4-254-20170-3

ホウ素と硫黄の新しい二次元物質を世界初生成

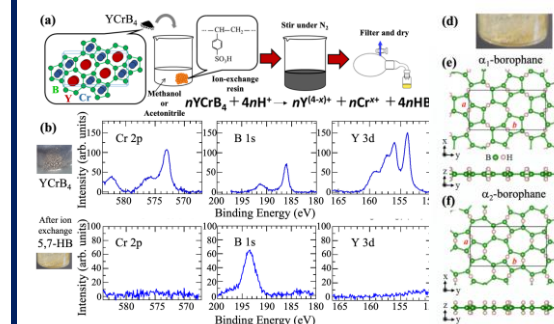
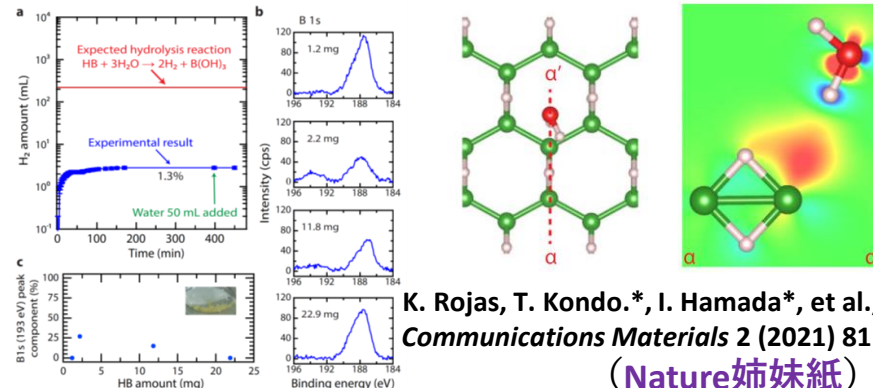
H. Kusaka, E. Nishibori, T. Sakurai, T. Kondo*, et al.,

J. Mater. Chem. A 9 (2021) 24631-24640

IF:12.732 プレスリリース, 日経新聞, 科学新聞ほか



ホウ化水素が水に対して化学的に安定 負電荷のホウ素ネットワークが強固の要因



5-7員環の ホウ化水素を 世界初生成

M. Niibe, S. Okada, T. Kondo., I. Matsuda, et al.,
Phys. Rev. Materials 2 (2021) 81.

光量子計測器開発部門の活動報告会



11

構成員会議 6/25

光量子 1 : 中村浩二 (KEK) 新型LGAD検出器が切り拓く次世代飛跡検出器

Next-generation tracking detector explored by the new LGAD sensor

光量子 2 : 原和彦 「宇宙線ミュオン粒子を用いた福島第一原子炉の透視」を振り返って

Review of "Muon radiography of Fukushima Daiichi nuclear debris using cosmic muons"

構成員会議 11/25

光量子 1 : 中村浩二 (KEK) 高輝度LHCでのATLAS内部飛跡検出器ITk用ピクセル検出器の設計と

建設 Design and Construction of Pixel Detectors for the ATLAS ITk at HL-LHC

光量子 2 : 山田美帆(都立産業技術高専) ILC用衝突点検出器の設計に向けたSOIピクセル検出器か

らの取り組み Activities of SOI Pixel Development for the Design of Vertex Detector at the ILC

光量子ワークショップ 3/22

8つのトーク

TCHoU Workshop, Photon & Particle Detectors Division

Mar 22, 2022 10:00-12:00



12

Session : Zoom : TCHoU DPPD workshop 22 March 2022

<https://us02web.zoom.us/j/85858350972?pwd=Y21UMXdQMGsxWldUR3kzVlJ3cjQvdz09>

20min each including discussions

Abderrahmane GHIMOUZ	Development of FoCal-E electronics prototype in ALICE	new PD
小沢恭一郎	J-Parc E16 experiment —low-mass e^+e^- measurements with detector challenges —	KEKクロアポ
丹羽綾子	1.5 THz photon counting detectors for Antarctic THz Intensity Interferometry	M2
瀧口風太	Development of wide IF band Receiver of Submillimeter Telescope for simultaneous observation of CO and CI lines in 500GHz band	M2
北彩友海	Recent development of finely segmented AC-LGAD sensors	M1
鈴木尚紀	Precision beam tracker for the KEK AR-TB based on SOI sensor technology	M2
廣瀬茂輝	Production of microstrip silicon sensors for the HL-LHC ATLAS ITk	
中村浩二	Preparation of pixel module production for the HL-LHC ATLAS ITk	KEK連携