

メトロロジーWG

“次世代デバイスにおけるメトロロジーへの要求とソリューション”
(WG14, 故障解析SWGの活動から)

STRJ ワークショップ

2016年 3月 4日

WG14主査：瀬島 幸一（ソニー）

内容

□2015年度STRJ WG14 活動報告

- ITRS Metrology国際活動
- WG14 国内活動
 - 先端計測技術動向調査（ヒアリング）
 - 海外学会参加報告（FCMN2015）

□2015年度故障解析 S W G 活動報告

STRJ WG14活動メンバー

瀬島幸一	(ソニー)	リーダー
池野昌彦	(日立ハイテクノロジーズ)	サブリーダー/国際担当
鶴田 浩巳	(ルネサス エンジニアリングサービス)	幹事
為我井 晴子	(ルネサス エンジニアリングサービス)	幹事
山崎裕一郎	(NGR)	
片岡祐治	(富士通研究所)	
浅野 昌史	(東芝)	
市川昌和	(東京大学)	
水野文夫	(明星大学)	
清水 康雄	(東北大学)	
五十嵐信行	(名古屋大学)	
西萩一夫	(テクノエックス)	
船橋 孝典	(東レエンジニアリング)	
権太 聡	(産総研)	

内容

□2015年度STRJ WG14 活動報告

- ITRS Metrology国際活動

- WG14 国内活動

 - 先端計測技術動向調査（ヒアリング）

 - 海外学会参加報告（FCMN2015）

□2015年度故障解析 S W G 活動報告

ITRS Summer Meetingのトピックス

他のFocusTeams/TWGsからのメトロロジーニーズの議論を実施

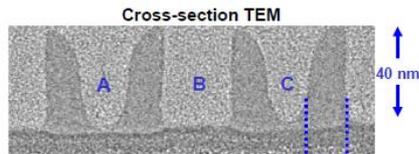
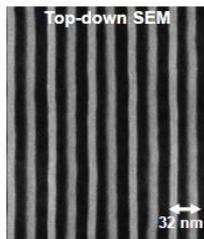
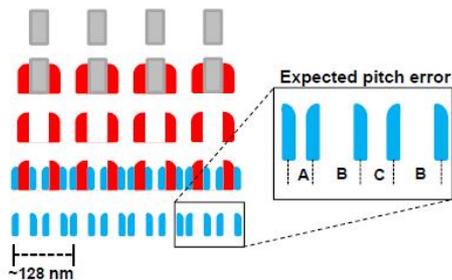
FT/TWIG	Metrology Needs	
Lithography	<ul style="list-style-type: none"> • Metrology for full 3D profile and defectivity, including bridging and void defects • Overlay metrology for DSA (More sampling at higher rates is needed to fully capture overlay shifts) • Overlay metrology for double patterning (< 5 nm) • DSA metrology & defectivity needs (on large area) <ul style="list-style-type: none"> • Surface neutrality local measurements 	
FEP	<p style="background-color: yellow; padding: 10px;">40nm以下のパーティクル検出およびその化学組成（3D）の解析技術、DSA欠陥検出、5nm nodeのdouble patterning でのOverlay計測、広いエリアでのDSA metrology & defect （表面組成、ガイド内の位置とCD）等がTWG/FTからの要求として追加。</p>	
ERM/ERD		
Interconnect		
ESH		
nano-materials .	Integration	<ul style="list-style-type: none"> • virtual metrology (with standards) to support emerging capabilities such as smart technology.
• Strategy on interaction items	More Moore Yield FEP Interconnect	<ul style="list-style-type: none"> • Stacked Nanowire characterization and Post wire characterization • Overlay and alignment for wafer to wafer bonding • EUV reticle defect inspection • Particle detection below < 40 nm and its chemical composition(3 Dimensions at Planar Devices, 3D Devices) • Dimensional thickness control, & AMC control: outgassing and increased cycle time. • Embedded defects – voids; 3D information for particle detection • Defect in DSA – buried defects are not easily characterized using standard detection strategies. • Gate oxide integrity, Metal gate work function • Carrier mobility for stacked fins with strained Si, SOI, III-V, GeOI, • Stain, defect density, material composition, material dielectric interface, material loss oxidation. • High mobility Channel materials characterization in non planar structures (III-V)

山崎委員

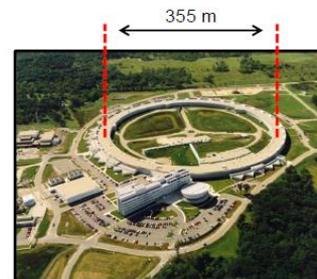
ITRS Summer Meeting @Stanford University

ITWG MetrologyはMore Moore FTへの提案として、インテルとの共同研究で行っている、CD-SAXSでのSAQPサンプル評価結果の報告を行った。

Spacer-Assisted Quadruple Patterning (SAQP)



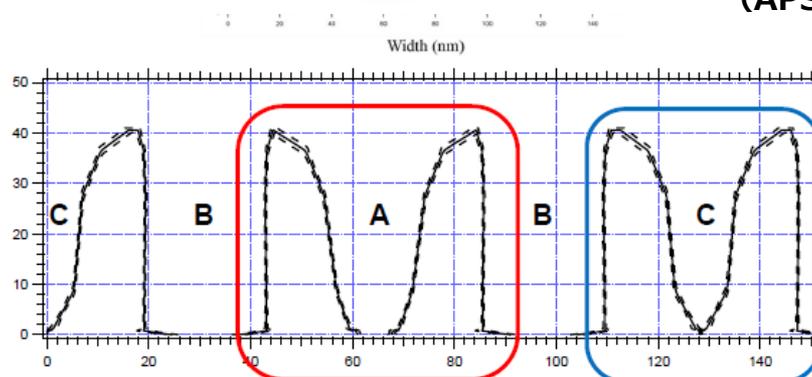
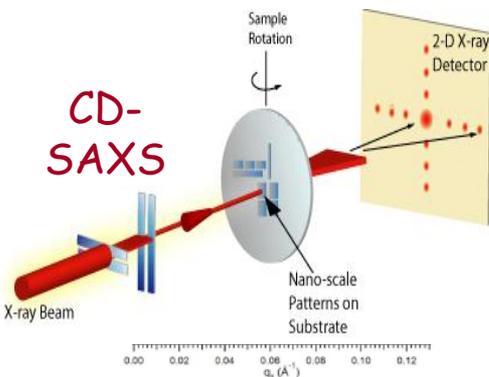
* NIST R. Joseph Kline



処理時間： 10秒
(APS X線源)



1時間
(Mo X線源)

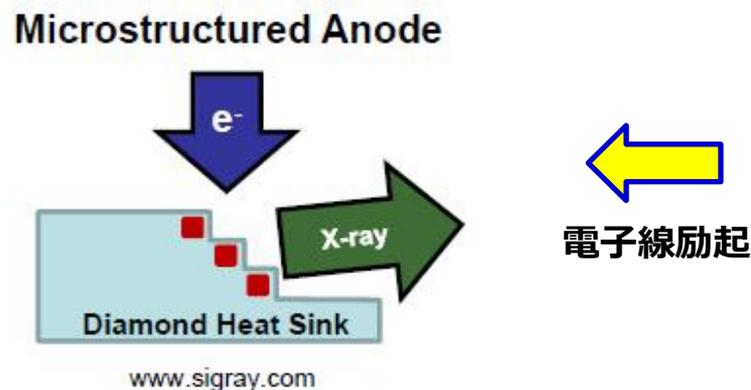
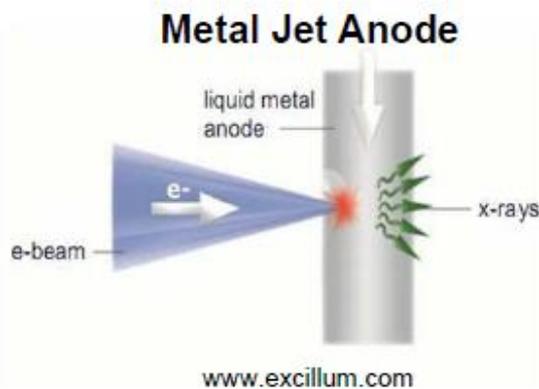
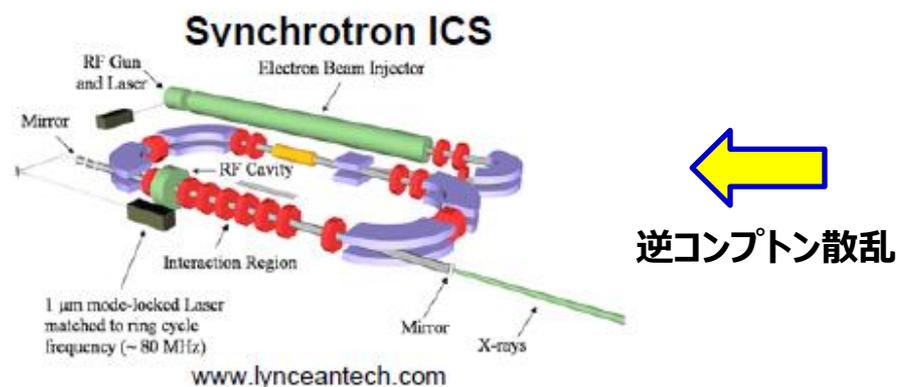
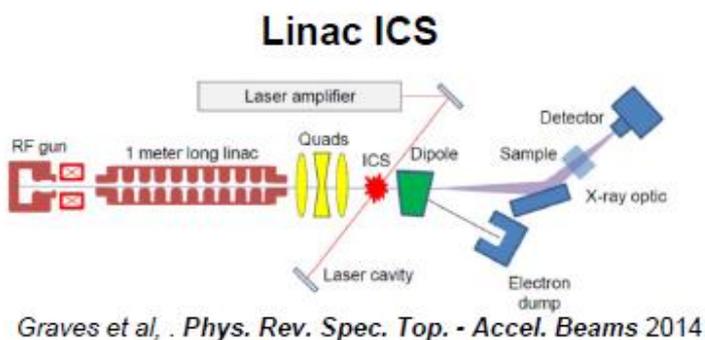


↑

**Labベースの
高輝度X線光源が
必要**

ITRS Summer Meeting @Stanford University

Labベースの高輝度X線光源が必要であり、Linac ICS (Inverse Compton Scattering), Synchrotron ICS, Metal Jet Anode (Liquid metal jet + Electron Beam), Microstructured Anodeなどが候補技術として挙げられている。



* NIST R. Joseph Kline

内容

□2015年度STRJ WG14 活動報告

- ITRS Metrology 国際活動
- WG14 国内活動
 - 先端計測技術動向調査（ヒアリング）
 - 海外学会参加報告（FCMN2015）

□2015年度故障解析 S W G 活動報告

先端計測技術動向調査（ヒアリング）

国内活動の基本方針：

先端計測技術の国内の要素技術動向を調査し、今後の計測技術の方向性をまとめる

年月	講師	テーマ
2015年6月	森田成二氏（東芝）	次世代リソグラフィーからメトロロジーへの要求「NGL状況」
2015年7月	于秀珍先生（理研）	「ナノスケール磁気渦－スキルミオンの直接観察」
元素分析	井真二先生（兵庫県立大学）	「ナノインプリントの現状」
2015年10月	高倉 優氏（日本電子）	軟X線分光法（SXES : Soft X-Ray Emission Spectroscopy）
2015年12月	栗林 勝氏（リガク）	“Labベースの高輝度X線光源開発の現状”
ポテンシャル分布観察	ーデンExcillum社）	Metaljet X-ray source
	五十嵐 信行先生（名古屋大学）	「電子線ホログラフィーを応用した半導体デバイスのナノオペランド計測」
2016年2月	谷垣 俊明氏（日立ハイテク）	「分離照射電子線ホログラフィーの開発とその応用」
	佐藤 岳志氏（日立ハイテク）	「位相シフト電子線ホログラフィーによる有機EL内部の電位分布観察」

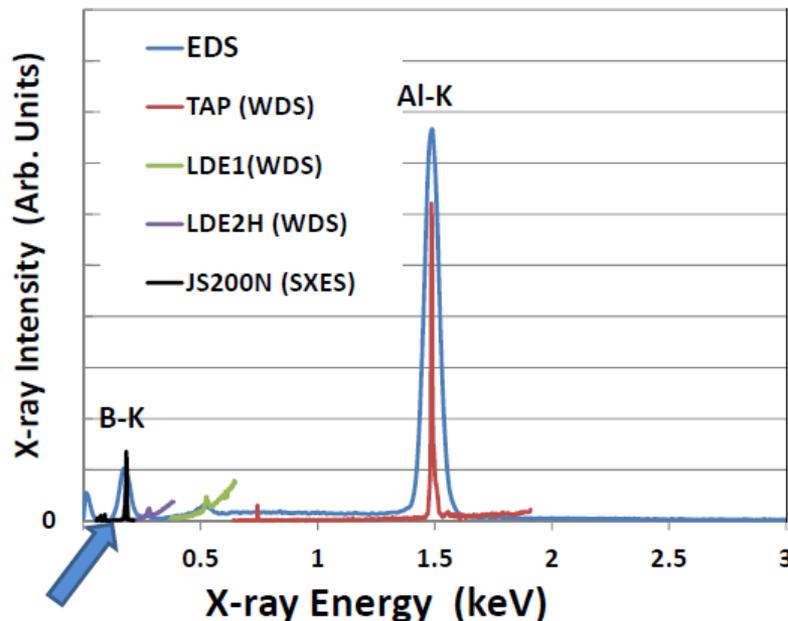
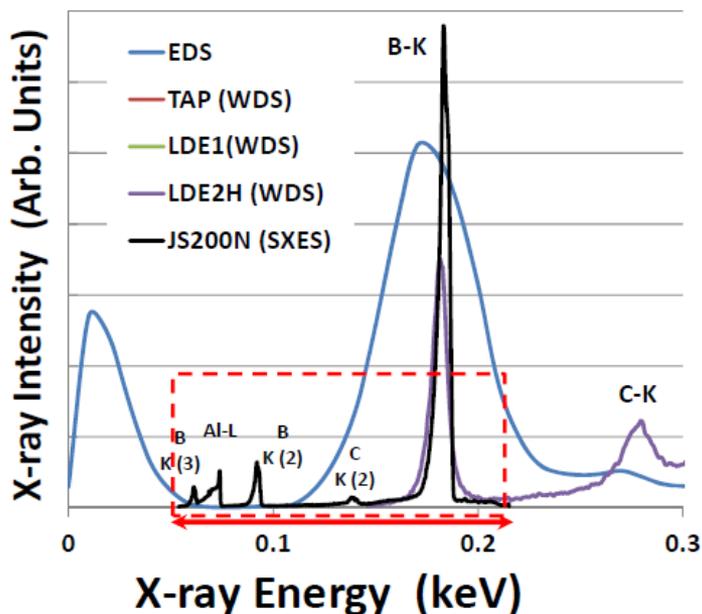
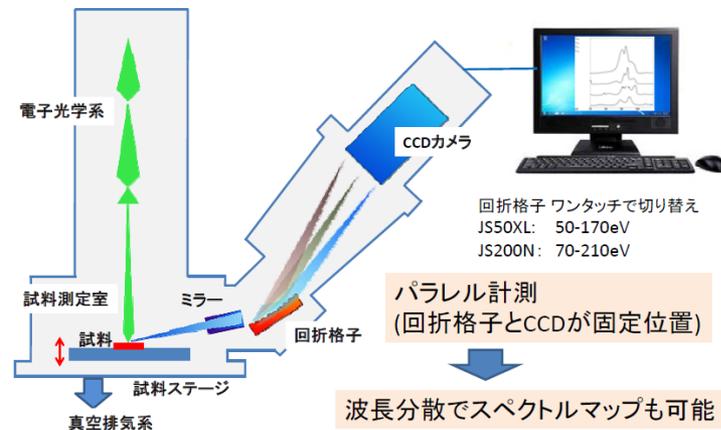
SXES (軟X線分光)の開発

日本電子 高倉 優様

➤ Soft X-ray Emission Spectrometer, SXES

SXES特徴:

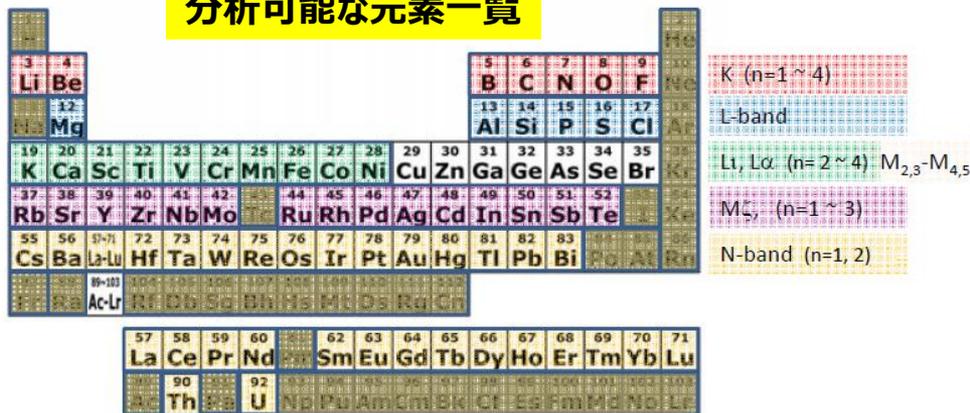
- 電子ビーム励起による、軟X線領域(50 ~ 210 eV) X線計測
- Li (~ 54 eV) 計測可能
- 高エネルギー分解能で化学結合状態分析可能
- 検出限界は、EDXの100倍以上
(金属Boron 軟X線 : 20ppm, EDX:5000ppm)



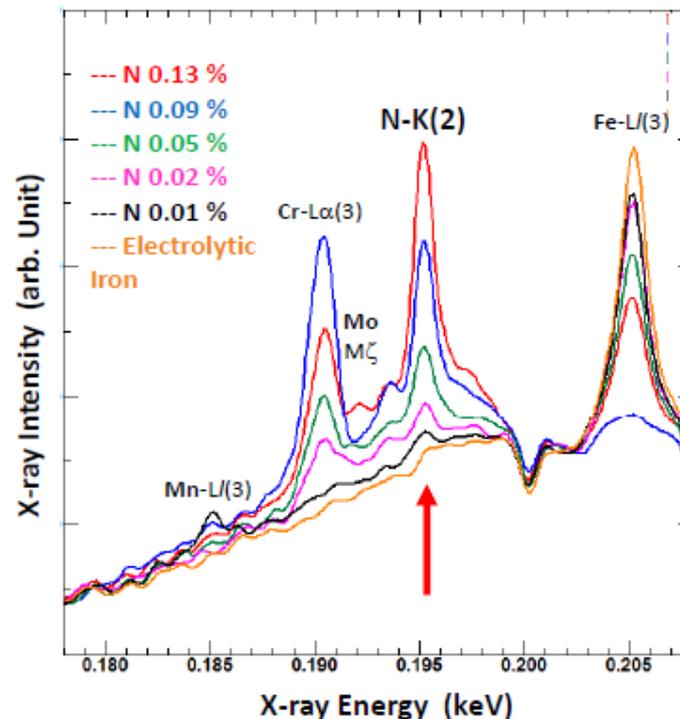
SXES (軟X線分光)の開発

➤ Soft X-ray Emission Spectrometer, SXES

分析可能な元素一覧



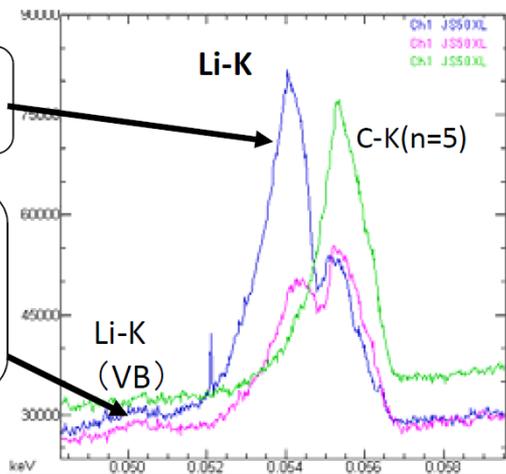
検出限界事例 (ステンレス中のN)



化学結合状態分析事例

満充電部の金属的 Li-K 発光強い

30%充電部ではイオン性結合に特有の価電子帯サテライトピークの発光

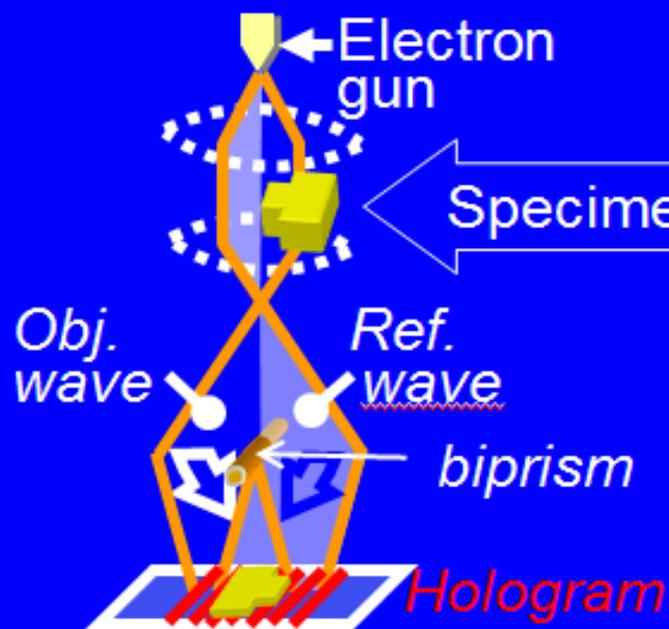


- 満充電
- 30%充電
- 充電無し

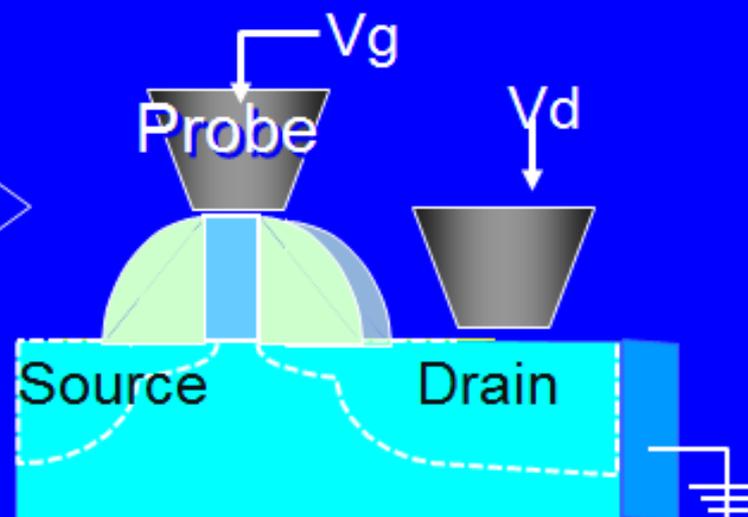
電子線ホログラフィーによる動作状態における 微細MOSFETの内部ポテンシャル分布観察

名古屋大学 五十嵐 信行様

● Optical-geometry in electron holography



● Voltage application to specimen by probe



• Piezo-driven tungsten tip was used for terminal biasing.

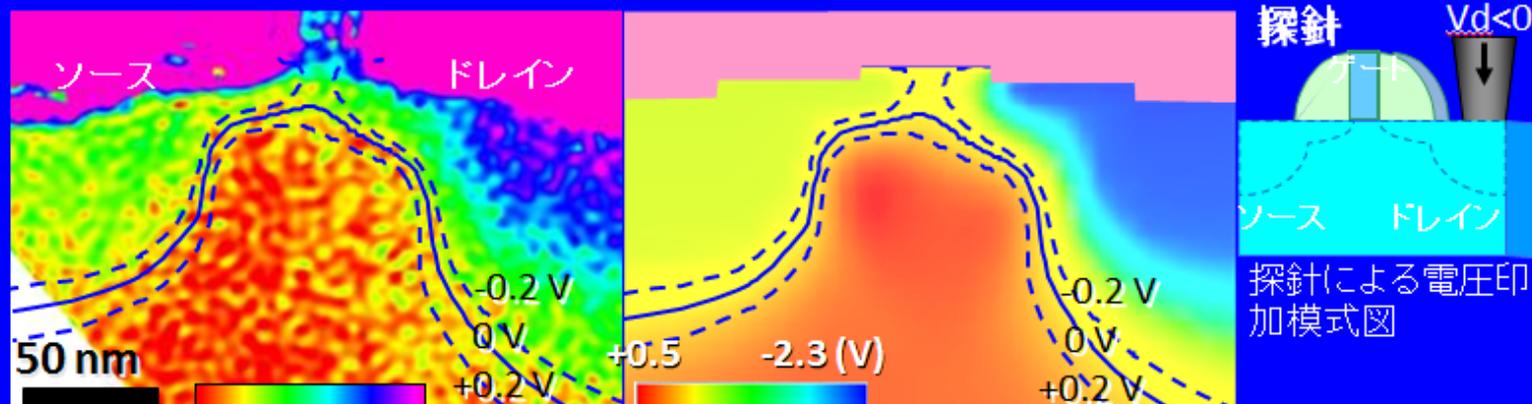
微細MOSFETのオペランド観察

➤ ドレイン電圧によるチャネル障壁の低下

微細MOSFETのオペランド観察 ドレイン電圧によるチャネル障壁の低下

ポテンシャル実測

シミュレーション

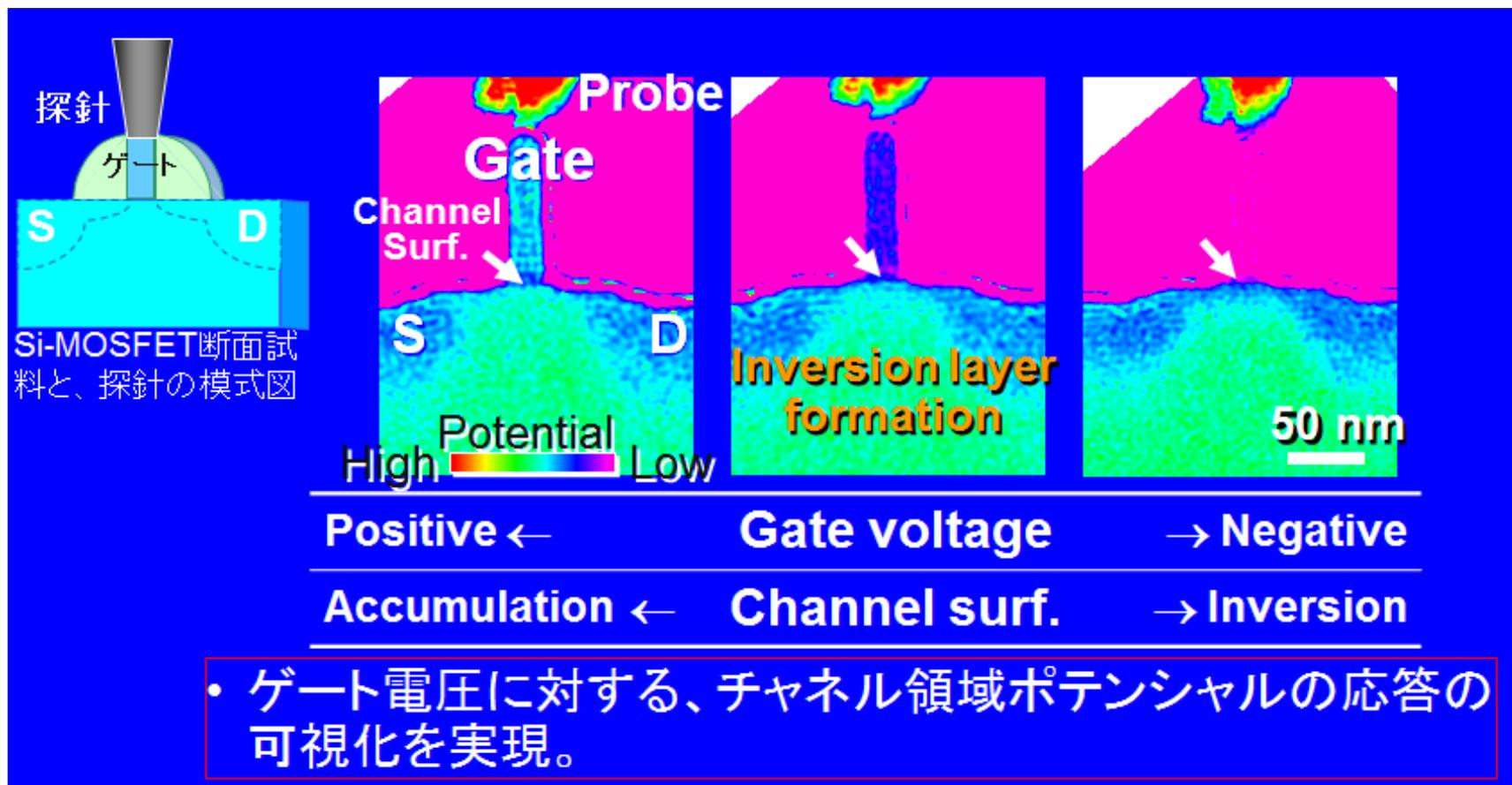


- 素子動作状態でのポテンシャル分布可視化可能。
- 電荷分布の解析が可能。
- 空間分解能1 nm, ポテンシャル分解能0.1 eV
(装置の高性能化により改善可能)。
- TEM分析 (構造、組成、電子構造解析) と同時計測可能。

微細MOSFETのオペランド観察

➤ ゲート電圧に対するポテンシャル分布の応答

動作状態デバイスのポテンシャル分布のナノスケール解析は、材料とデバイス、シミュレーションとデバイスを直接的に結び付けるキーテクノロジー
ナノデバイスの動作状態解析（オペランド解析）を世界に先駆け実証。



内容

□2015年度STRJ WG14 活動報告

- ITRS Metrology 国際活動
- WG14 国内活動
 - 先端計測技術動向調査（ヒアリング）
 - 海外学会参加報告（FCMN2015）

□2015年度故障解析 S W G 活動報告

海外学会参加報告(FCMN2015)

FCMN:Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics

FCMNは評価・計測・解析技術にフォーカス、主催は米国標準技術研究所（NIST）で、海外の計測技術動向調査として重要な学会

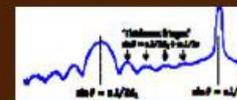
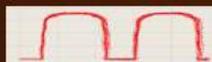
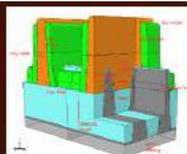
開催地：Dresden2015/4月
池野委員

	セッション	件数	発表機関(筆頭者)		
1	Keynote	3	Fraunhofer IPM	GF	Max Plank Inst.
2	General	2	TMTS	Imec	
3	Microscopy Metrology	3	Tennessee大	Grenoble大	Jordan Valley
<p>(1)内容 電子線やX線によるCD計測、TEM/STEM解析、トモグラフィ（Atom Probe、電子線、X線）、X線解析、機械的特性（ヤング率、密着強度）など多岐にわたる</p> <p>(2) 参加者数</p> <ul style="list-style-type: none"> 参加者数は約140名（前回2013年は約200名） シングルセッションで構成され、Keynote 3件、Oral 29件、Poster 49件 <p>(3) セッション構成・発表機関</p> <ul style="list-style-type: none"> ドイツ開催ということもありドイツの大学・研究機関からの発表が多い デバイスメーカーからはIntelとGFが、コンソーシアムからはImecとCEA-Letiから発表 					
12	Poster	49	AIMAT	TU Dresden	FVA Tepia
			省略		

海外学会参加報告(FCMN2015)

Plenary Talk (GLOBALFOUNDRIES)

3 D metrologyがさらに重要となるが、OCD、CD-SEM、AFM、TEM/XSEM、X-Rayといった複数の設備が必要。しかし単独の計測機では十分な3 D情報が得られないため、GFではHybrid Metrologyを推進しているとの内容。



Attributes:	OCD	CD-SEM	AFM	TEM/XSEM	X-Ray
What to measure	CD, profile, other	CD, roughness	CD, profile	CD, profile, other	Ultrathin films, composition
Where to measure	Periodic grating	Any	Any	Any	Mostly Unpatterned
Time to solution	Days to weeks	Minutes	Minutes	Hours to days	Minutes
Destructive	Negligible	Minor (resist)	Mostly none	Yes	Mostly none
Time to measure	Seconds	Seconds	Minutes to hours	Days	Minutes to hours
Summary: strengths	Fast measure Most profile info High Precision	Quick setup and fast measure Anywhere	Most profile info High accuracy	Full profile info High accuracy	Ultra-thin films and composition Synergistic to OCD
Assumptions and limitations	Model assumptions Accuracy & precision trade-off Requires grating	Constant and uniform profile Limited profile info Affected by profile	Tip wear and characterization Needs Large space Low throughput	Process-dependent resolution Limited statistics Expensive & destructive	- Complete correlation volume / composition (needs hybrid)
Typical Fab usage	"workhorse" for CD and profile	"workhorse" for CD	Reference, partial in-line	Absolute reference	Composition

Difficult for a single metrology technique to measure all critical parameters sufficiently on 3D
 -> **Hybrid Metrology** emerging to fill-in gaps where individual techniques are lagging

内容

□2015年度STRJ WG14 活動報告

- ITRS Metrology国際活動
- WG14 国内活動
 - 先端計測技術動向調査（ヒアリング）
 - 海外学会参加報告（FCMN2015）

□2015年度故障解析 S W G 活動報告

故障解析SWG 2015年度活動報告

サブリーダー

二川 清 (金沢工大)

故障解析SWGメンバー（2016/1/13現在）

役職	氏名	所属名	役職	氏名	所属名
リーダー	益子 洋治	大分大学	特別委員	渡辺 雄一	オンセミコンダクター
サブリーダー	二川 清	金沢工業大学	〃	小川 真一	産業技術総合研究所
委員	和田 慎一	ルネサス エンジニアリング サービス(株)	〃	中島 蕃	デバイス・アナリティクス(株)
〃	瀬戸屋 孝	(株)東芝	〃	八坂 行人	(株)日立ハイテクノロジーズ
〃	則松 研二	(株)東芝	〃	三井 泰裕	(株)真空デバイス
〃	稲垣 亮介	ローム(株)	〃	水野 貴之	(株)日立ハイテクノロジーズ
〃	長田 辰也	ラピスセミコンダクタ(株)	〃	寺田 浩敏	浜松ホトニクス(株)
特別委員 (大学)	中前 幸治	大阪大学	〃	須賀 三雄	日本電子(株)
〃	眞田 克	高知工科大学	〃	橋本 秀樹	(株)東レリサーチセンター
〃	上野 和良	芝浦工業大学	〃	杉江 隆一	(株)東レリサーチセンター
合計人数			20		

故障解析SWGでの討議内容と講師一覧

第60回 日時:2015年5月29日(金)13:30~17:00

1: 臼田 宏治(東芝)

「Si半導体系ロードマップとSPM技術」

2: 瀬島 幸一(ソニー)

「半導体デバイス構造解析技術の最新動向
(WG14, 故障解析SWGの活動から)」

3: 清宮 直樹(エクスロン)

「最新X線CT市場動向」

第62回 日時:2015年12月4日(金)13:30~17:00

1: 瀬戸屋 孝(東芝)、二川 清(金沢工大)

「故障解析SWGの今後(その2)」

2: 清水 康雄(東北大)

「半導体デバイス中のドーパント分布解析に向けた
3次元アトムプローブの利用」

3: 藤田 高弥(日産アーク)

「走査型容量顕微鏡法を用いた半導体微小領域の
キャリア濃度測定における不確かさと定量化」

第61回 日時:2015年8月21日(金)13:30~17:00

1: 二川 清(金沢工大)

「故障解析SWGの今後について:3通りの提案と議論」

2: 張 利(東芝)

「特定箇所・高空間分解能・高感度SSRM
及びSiデバイスへの応用」

3: 上田 修(金沢工大)

「850 nm酸化膜狭窄面発光レーザの信頼性と劣化メカニズム」

予定:第63回 日時:2016年1月22日(金)13:30~17:00

1: 長 康雄(東北大)

「SNDMIによる次世代半導体デバイス及び材料評価」

2: 朝山 匡一郎(日本電子)

「電子顕微鏡による不可視欠陥可視化の試み」

3: 小川 真一(産総研)

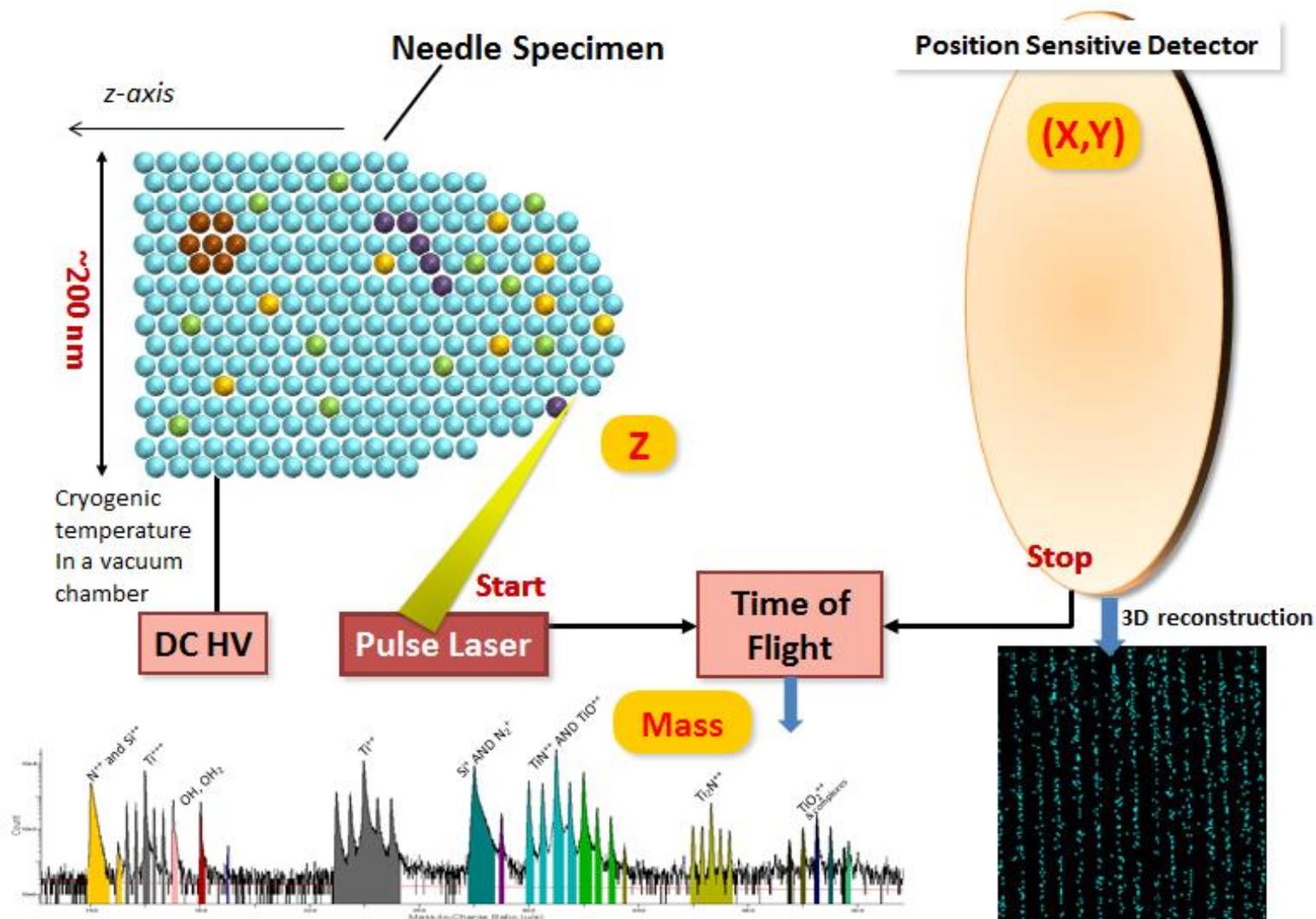
「ヘリウムイオン顕微鏡を用いた観察評価
および二次元膜の伝導特性制御」

3次元アトムプローブ概要

東北大学 清水 康雄様

➤ 3D-AP: Laser Mode

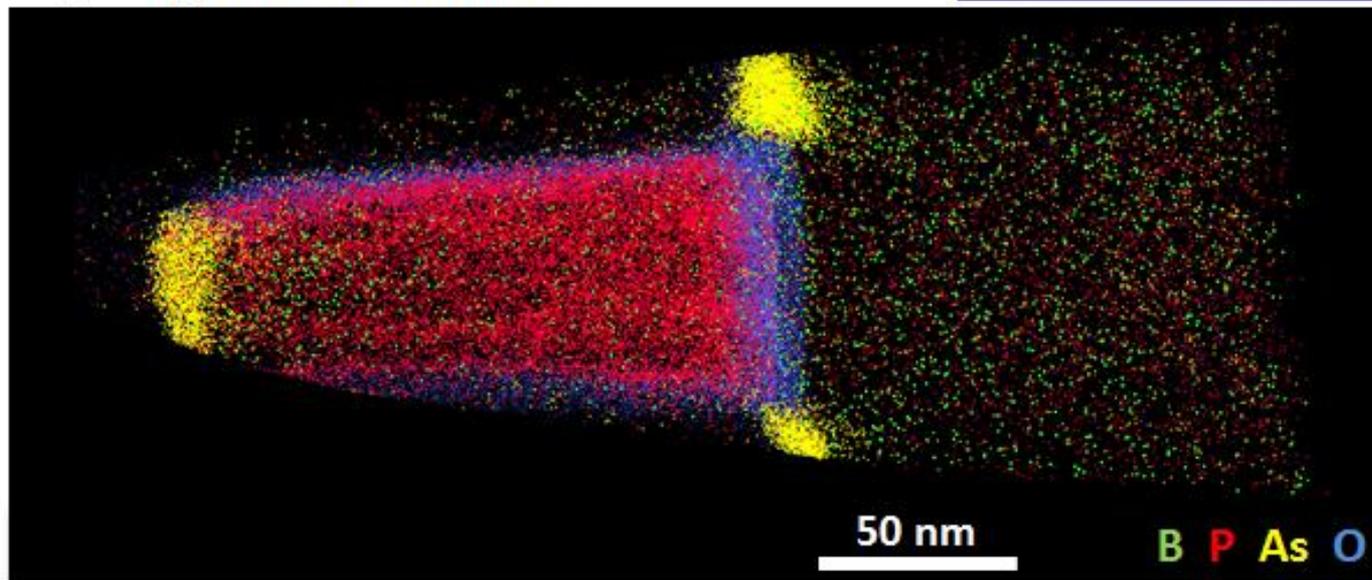
Y. Shimizu et al., *J. Vac. Soc. Jpn.*, **56**, 340 (2013).
 “Elemental Distribution Analysis of Semiconductor Nanostructures with Atom Probe Tomography” [in Japanese]



3D Atom Map Obtained by AP

e.g., *n*-type MOSFET structure

1 dot : 1 atom (1 ion)



Advantages

- ✓ 3D Elemental Mapping with Nearly-Atomic Scale Resolution
- ✓ Inside the Materials
- ✓ No Elemental Dependence in Detection Efficiency

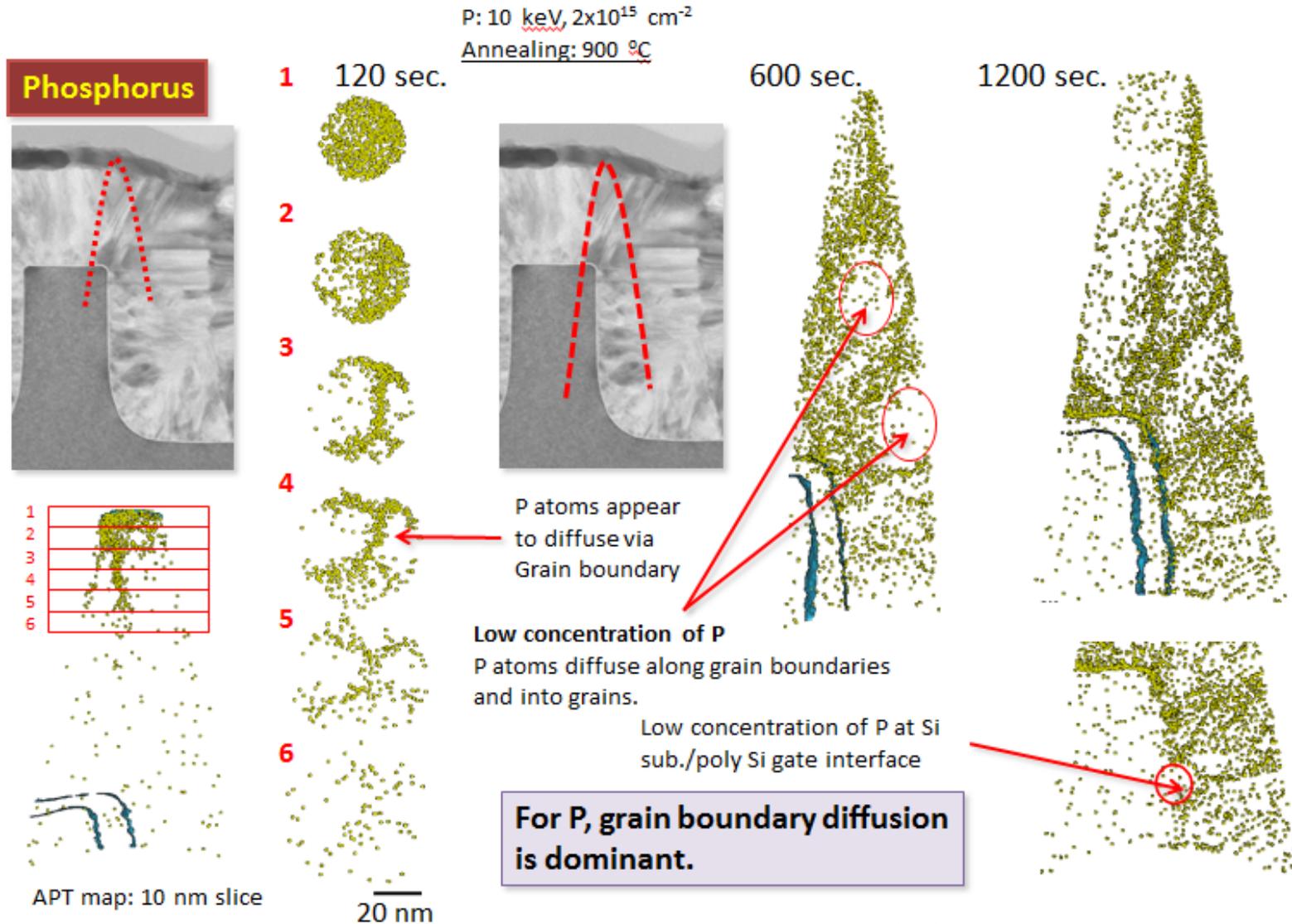
Difficulties...

- ✓ Small Observation Region
- ✓ Destructive Measurements, Sample Fracture
- ✓ Limited Information on Lattice Structure

Y. Shimizu et al., J. Vac. Soc. Jpn., 56, 340 (2013).

"Elemental Distribution Analysis of Semiconductor Nanostructures with Atom Probe Tomography" [in Japanese]

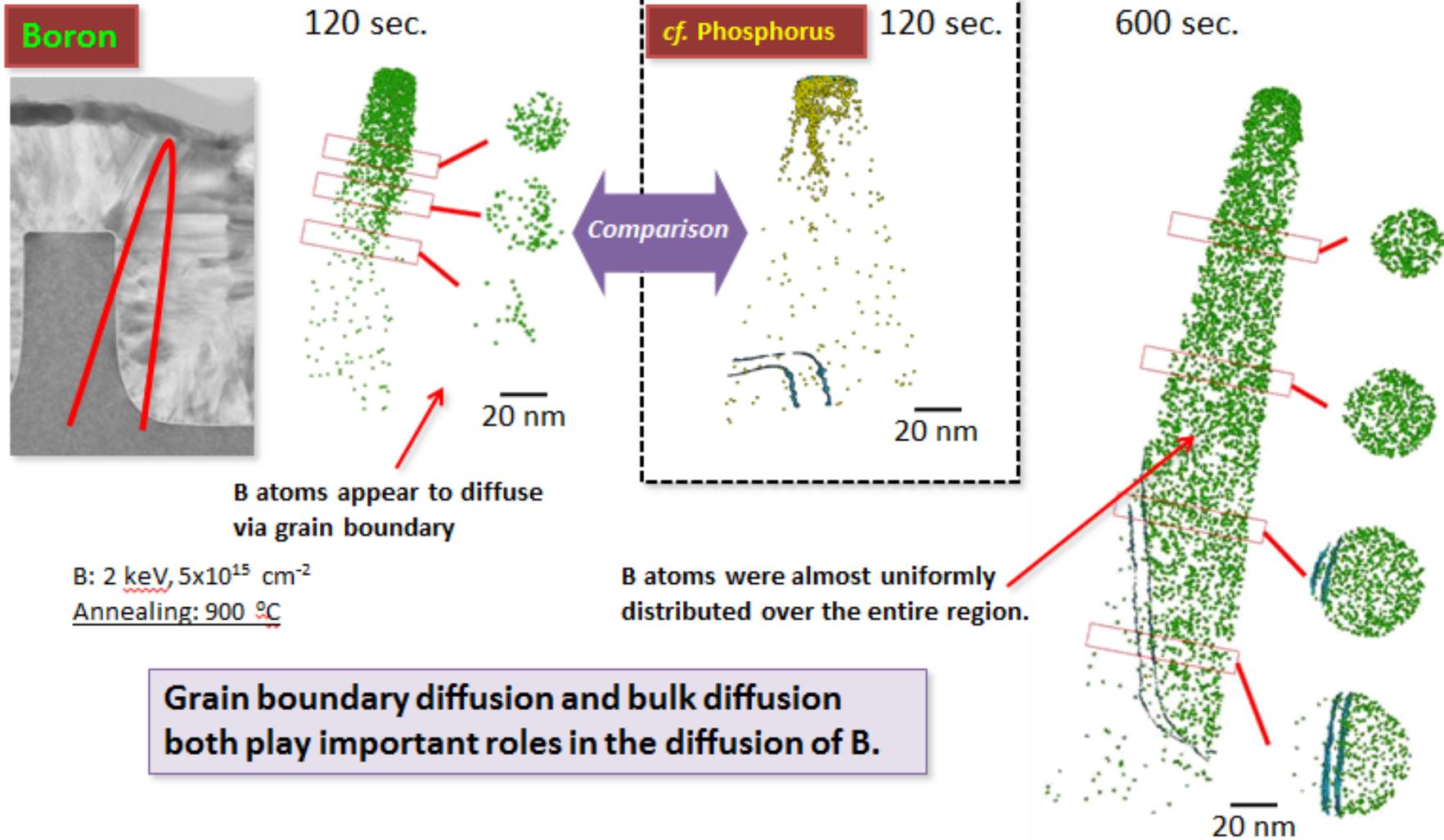
Dopant Diffusion in Trench-Type Device: Phosphorus



B. Han et al., *Appl. Phys. Lett.* **107**, 023506 (2015).

Dopant Diffusion in Trench-Type Device: Boron

B. Han et al., *Appl. Phys. Lett.* **107**, 023506 (2015).



まとめ

- ITRS Metrology国際活動としてSummer Meetingでの議論とMore Moore FTへの提案内容を紹介した。
- WG14 国内活動で、先端計測技術動向調査（ヒアリング）の内容及び海外学会の最新動向調査内容を報告した。
- 故障解析SWGの活動内容を紹介した。

用語集

AES : Auger Electron Spectroscopy
AFM : Atomic Force Microscope
CBED : Convergent-beam electron diffraction
CL : Cathodoluminescence
CT : Computational Tomography
EDX : Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
EELS : Electron Energy Loss Spectroscopy
EBSD : Electron BackScattering Pattern
FIB : Focused Ion Beam
GI : Grazing Incident
IR-OBIRCH : Infrared Optical Beam Induced Resistance Change
RBS : Rutherford Backscattering Spectroscopy
SAXS : Small Angle X-ray Scattering
SCM : Scanning Capacitance Microscopy
SEM : Scanning Electron Microscopy
SSRM : Scanning Spread Resistance Microscopy
SIMS : Secondary Ion Mass Spectroscopy
TEM : Transmission Electron Microscopy
WDX : Wavelength-dispersive X-ray spectrometry
XPS : X-ray Photoelectron Spectroscopy
XRD : X-ray diffraction
3DAP : three-dimensional atom probe

End