

This document contains trade secrets of Sumitomo Heavy Industries Ion Technology Co., Ltd.
Disclosure to any third party of this document and/or its contents without prior written consent of Sumitomo Heavy Industries Ion Technology Co., Ltd is strictly prohibited.

イオン注入の現状と方向性

半導体向けイオン注入装置の紹介

住友重機械イオンテクノロジー株式会社
プロセス技術室 塚原一孝
2025/2/21

会社紹介

住友重機械イオンテクノロジー株式会社

創 立	1983年4月
株 主	住友重機械工業 100%
事 業 内 容	イオン注入装置・レーザアニール装置/レーザ加工装置の開発、 設計、製造、販売およびサービス 中古半導体装置販売・移設
資 本 金	4億8千万円
代表取締役社長	月原光国
従 業 員 数	576名（2024年1月現在）
本 社	東京都品川区大崎二丁目1番1号 ThinkPark Tower
事 業 所	愛媛県西条市、神奈川県横須賀市



横須賀事業所



愛媛事業所(西条工場)

目次

- 半導体
 - 半導体の種類、製造工程、材料とpn接合
- 高エネルギー注入が必要なイメージセンサ
 - 高感度化とフォトダイオード、光の侵入深さ
 - 必要なイオン注入装置性能（注入角度、エネルギー、電流、発散角）
- SiCでの高エネルギー注入の必要性
- 高エネルギーイオン注入装置紹介

目次

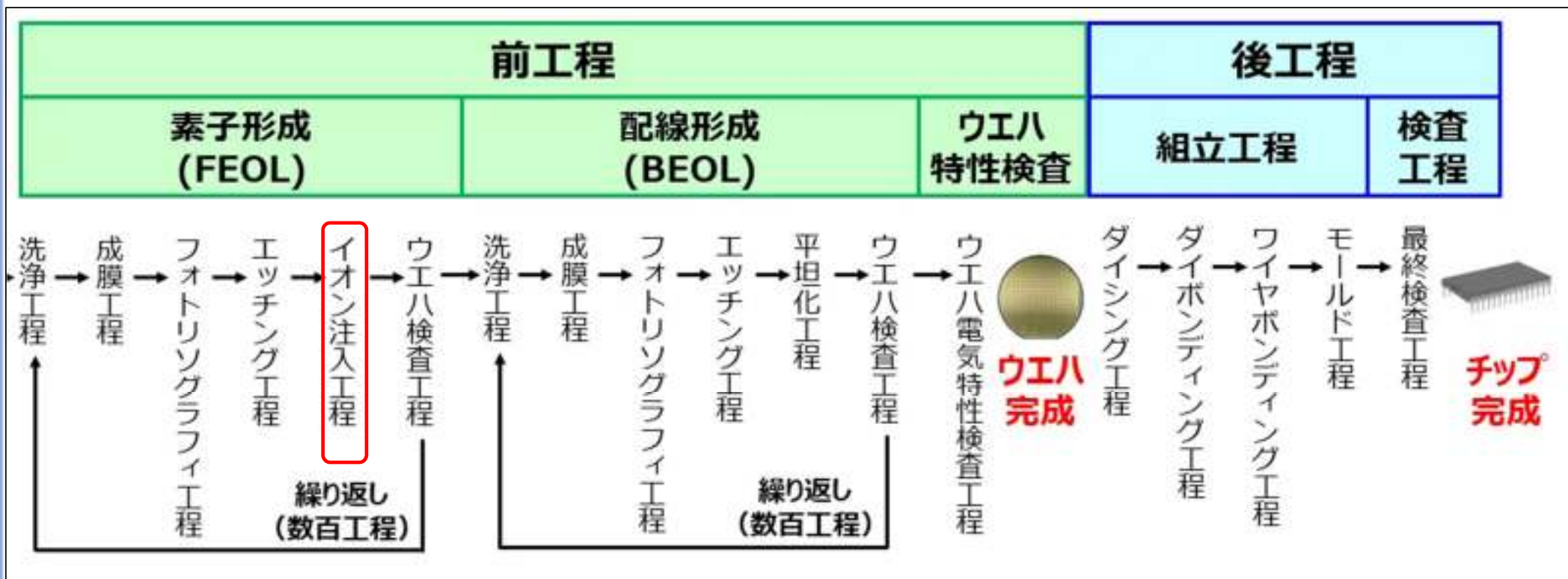
- 半導体
 - 半導体の種類、製造工程、材料とpn接合
- 高エネルギー注入が必要なイメージセンサ
 - 高感度化とフォトダイオード、光の侵入深さ
 - 必要なイオン注入装置性能（注入角度、エネルギー、電流、発散角）
- SiCでの高エネルギー注入の必要性
- 高エネルギーイオン注入装置紹介

半導体の種類

半導体の種類	人間に例えると	機能や役割	主な製品	用途
ロジック半導体	頭脳（計算）	計算、演算	CPU、GPU	PC、スマホ
メモリー	頭脳（記憶）	データの保存	DRAM、フラッシュメモリ	PC、スマホ、USBメモリ
アナログ半導体	目・耳（感覚）	光や音などをデジタル信号に変換	光センサ、温度センサ	デジタルカメラ、スマホ、車載カメラ
パワー半導体	心臓（筋肉）	電流や電圧の変換、制御	インバータ、コンバータ	家電、HV車、太陽電池

微細化に伴い、各セグメント毎にデバイス構造が変化した
特に、イメージセンサはイオン注入装置の性能が製品性能を左右し、工程も増える傾向にある

半導体製造工程



出典：半導体業界ドットコム

- ・イオン注入工程は、ウエハへ不純物(主にB,P,Asイオン)を均一に目的の深さに注入する
- ・その不純物をアニール(熱処理) によって電氣的に活性化することでPN接合など形成する

半導体材料とpn接合

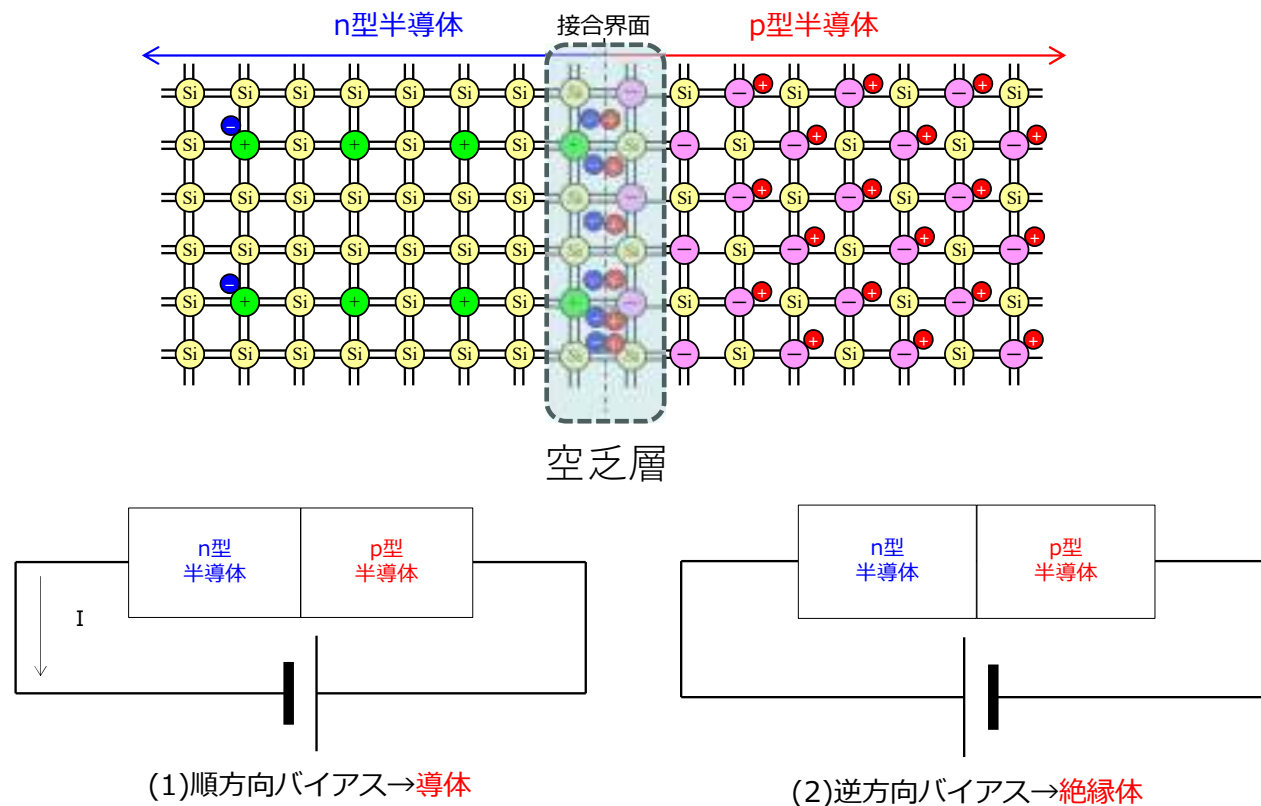
Si (原子番号14) 単結晶インゴット



出典：SUMCO

半導体の基本となるpn接合

n型半導体の不純物：P、As
p型半導体の不純物：B

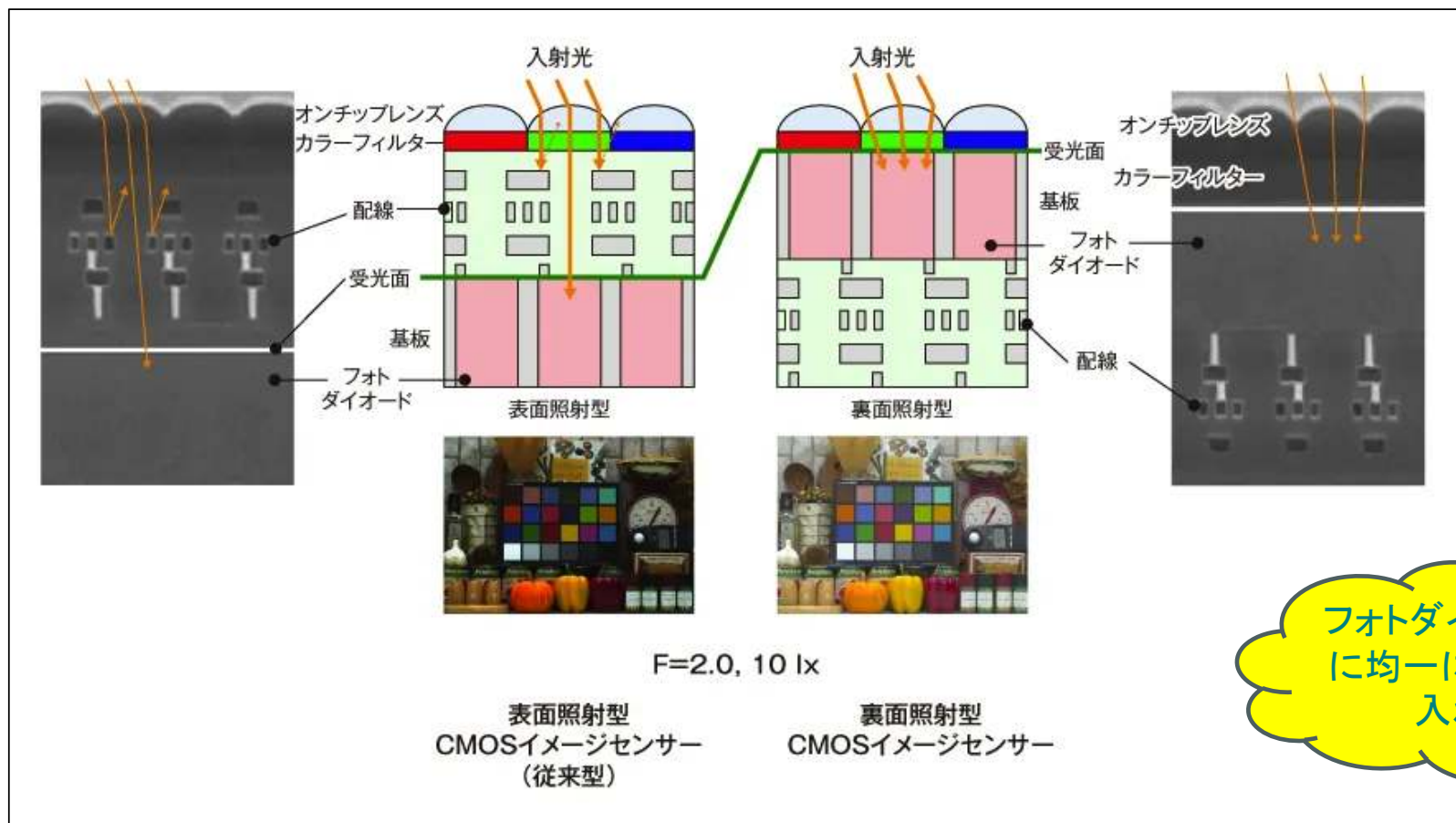


Siへ不純物を導入することで、導体と絶縁体の特性を持った半導体を作る

目次

- 半導体
 - 半導体の種類、製造工程、材料とpn接合
- 高エネルギー注入が必要なイメージセンサ
 - 高感度化とフォトダイオード、光の侵入深さ
 - 必要なイオン注入装置性能（注入角度、エネルギー、電流、発散角）
- SiCでの高エネルギー注入の必要性
- 高エネルギーイオン注入装置紹介

イメージセンサの高感度化とフォトダイオード

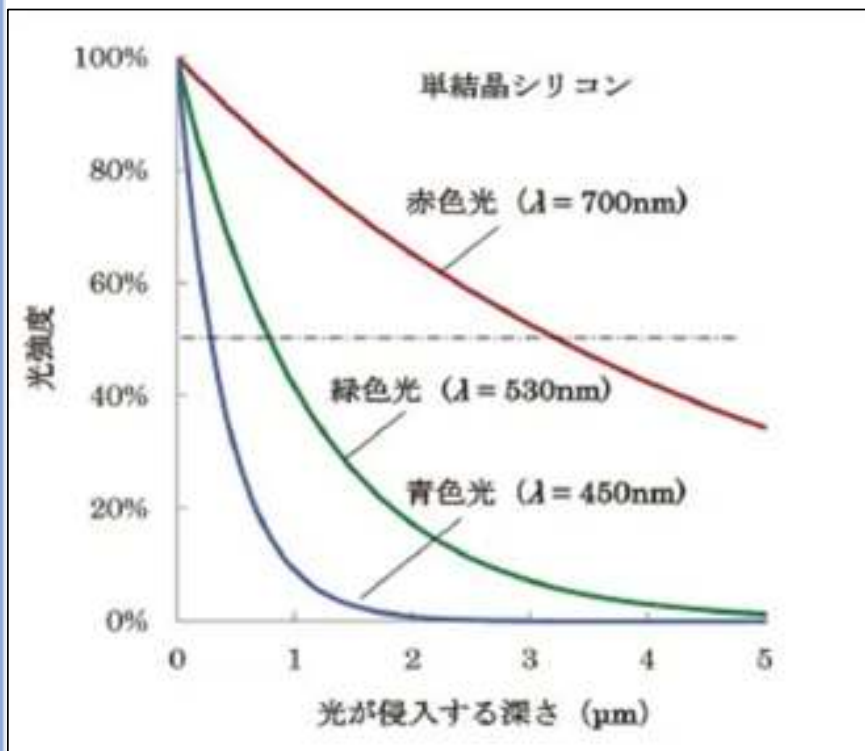


フォトダイオード部に均一にイオンを入れる

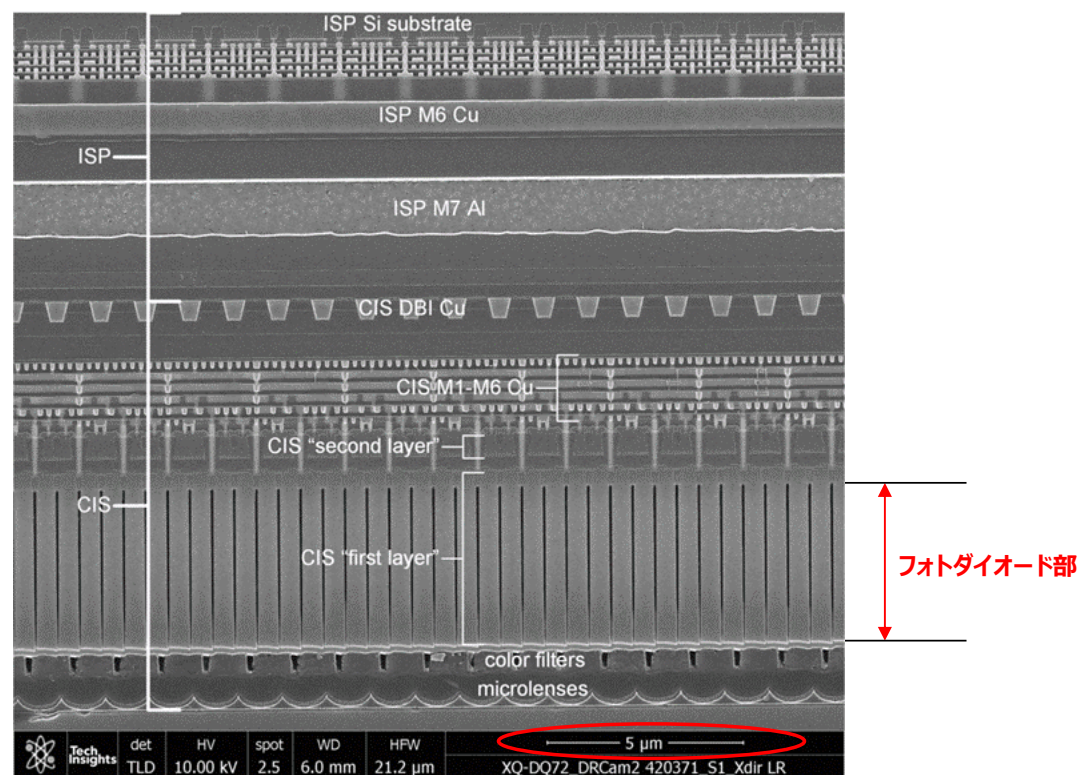
出典：ソニーセミコンダクタソリューションズ

高感度化により、フォトダイオード部分が深くなり、高いエネルギーでの多段注入が必要となる

光の侵入深さとイメージセンサ断面図



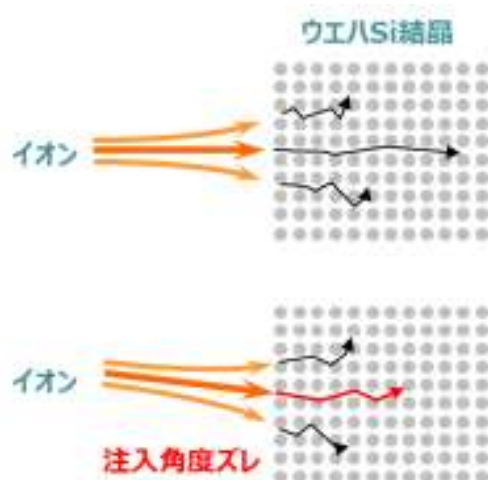
出典：映像情報メディア学会誌 Vol. 68, No. 1 (2014)



IEDM 2021, "3D Sequential Process Integration for CMOS Image Sensor" K. Nakazawa

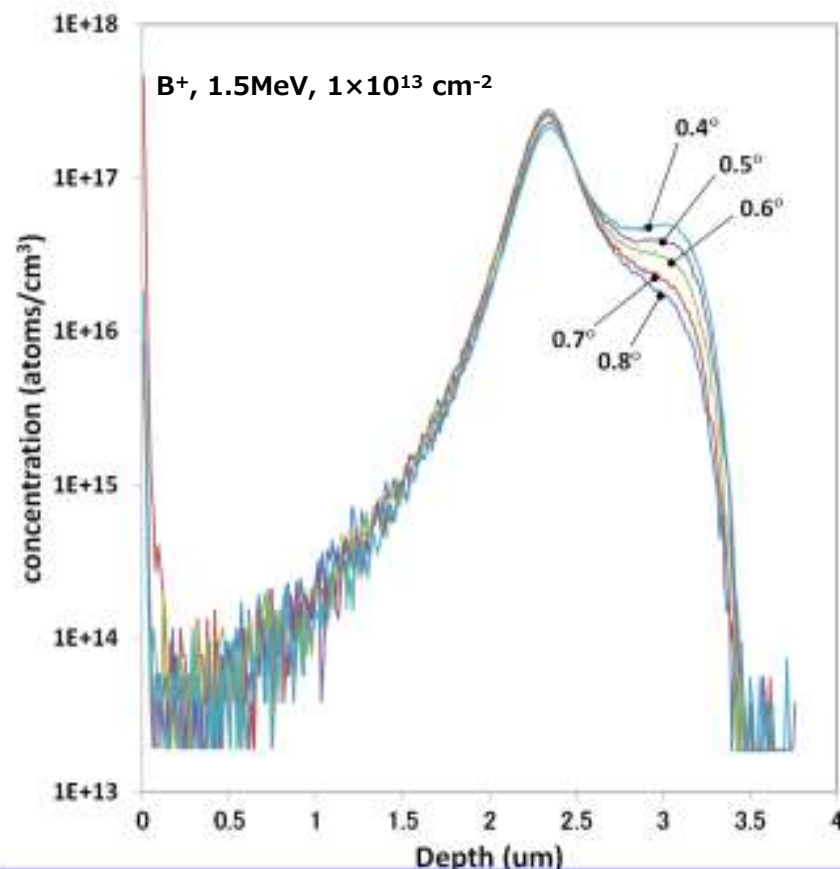
フォトダイオードの深さは、可視光であれば3～4 μm 程度となる
近赤外領域まで受光する必要がある車載用などでは、さらに深いフォトダイオードが必要になる

必要なイオン注入装置性能：注入角度精度



チャネリング量の差

Si結晶に衝突し
浅い注入になってしまう。



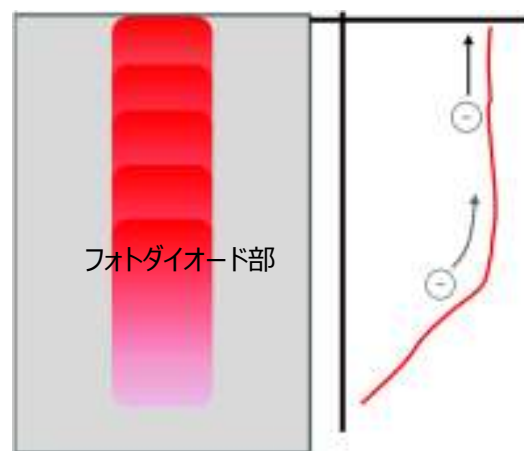
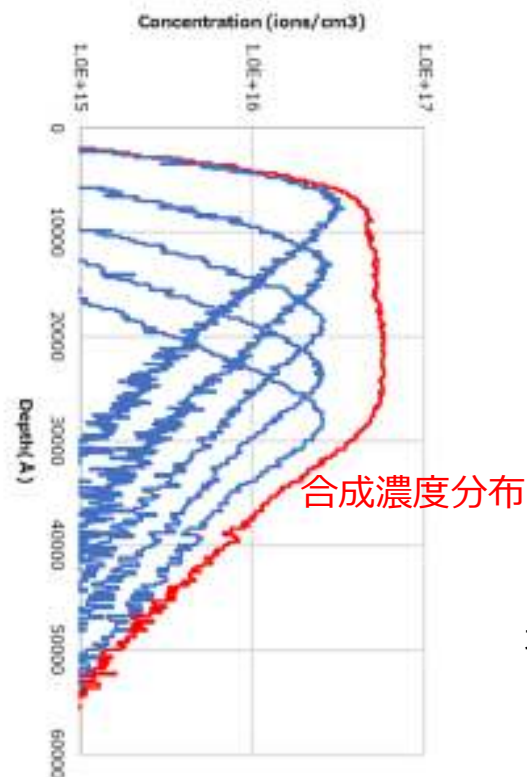
結晶構造 模型 (110)
-正四面体構造

- ・イオンがウエハに注入される角度が変化すると注入深さが変化
→ PD濃度プロファイル変化 → 電気特性のバラツキ → 画像ムラ、歩留まり低下
- ・正確な注入角度が求められる

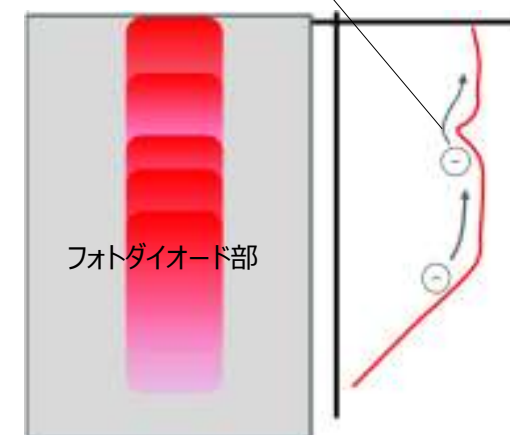
必要なイオン注入装置性能：エネルギー精度

フォトダイオードへの注入（多段注入イメージ）

As, 5MeV→4MeV→3MeV→2MeV→1MeV, $3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$



均一な濃度分布になっている場合

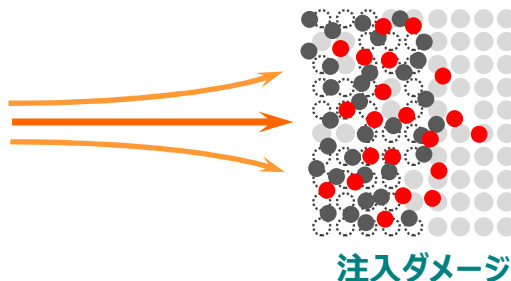


不均一な濃度分布になっている場合

多段注入では、濃度分布が不均一になっていると、電子の転送速度が低下し、残像などの原因となる

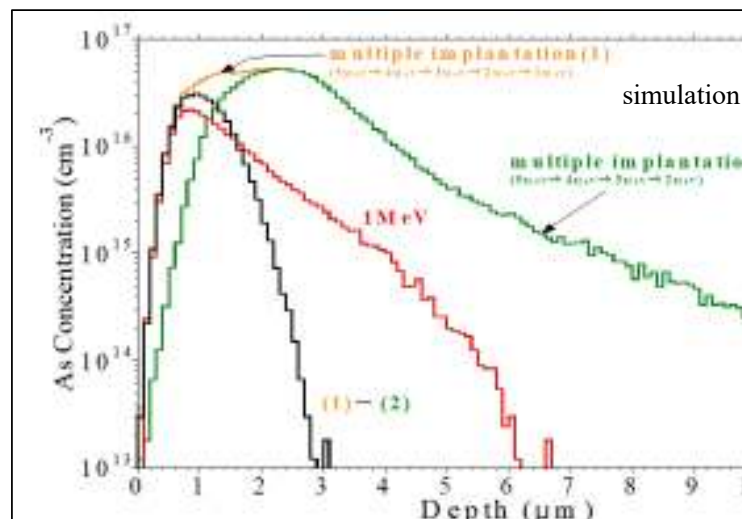
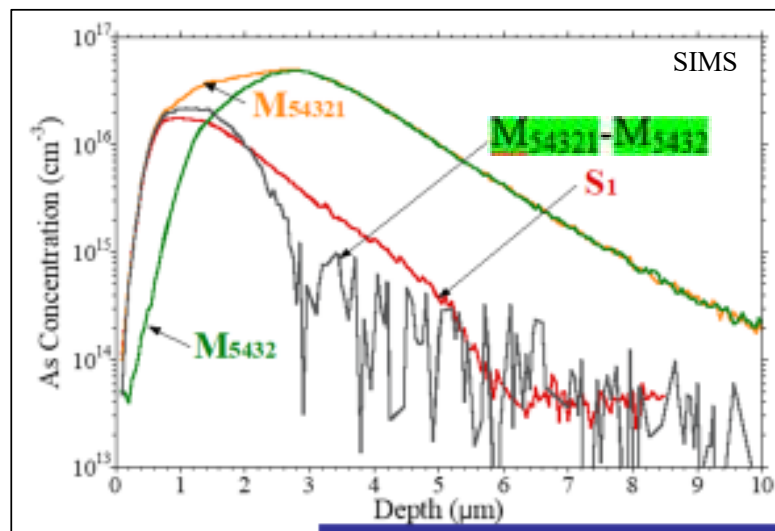
必要なイオン注入装置性能：電流密度

S_1	1MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"	多段注入	
M_{54321}	5MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	4MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	3MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	2MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	1MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
M_{5432}	5MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		多段注入
	4MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	3MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	2MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		
	1MeV	$3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$	0" / 0"		



結晶構造が壊されていくと（ダメージの蓄積）イオンは深くまで到達しなくなる

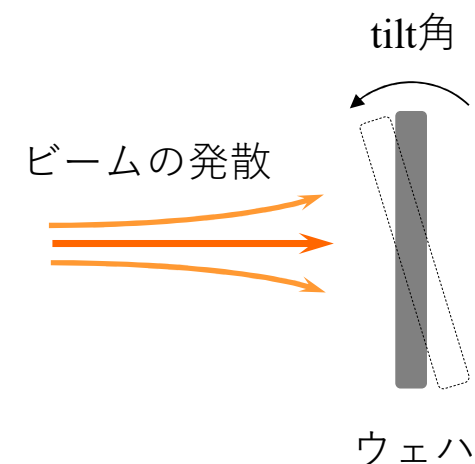
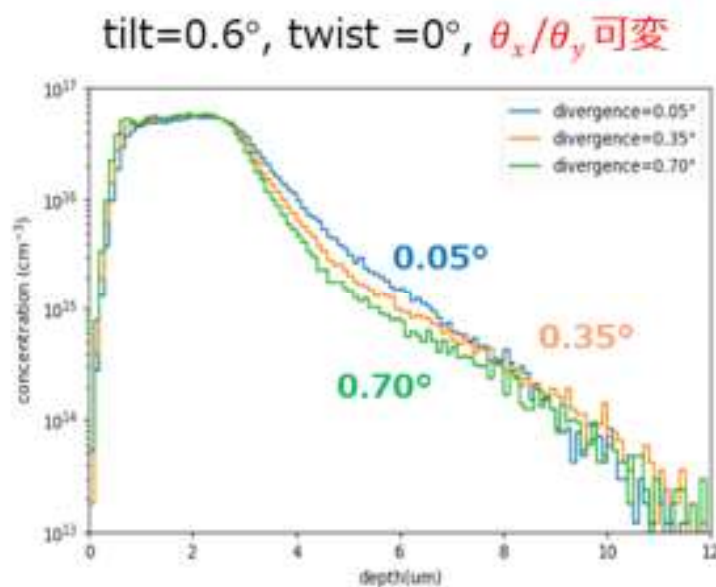
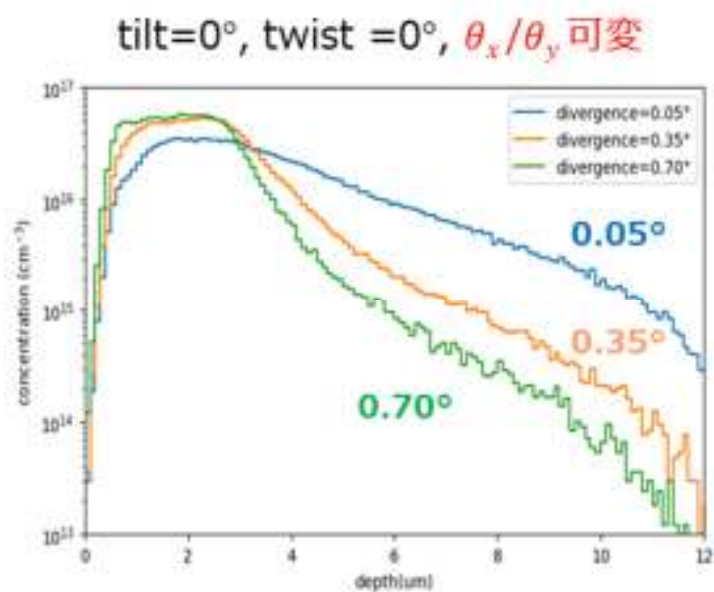
M_{54321} - M_{5432} の差分から得られる1MeVの濃度分布と、 S_1 の1MeVのみの濃度分布との差から、ダメージの影響を確認できる



ダメージが蓄積された状態でイオン注入すると、その影響を受けて濃度分布が変化する

多段注入によるチャネリングの影響

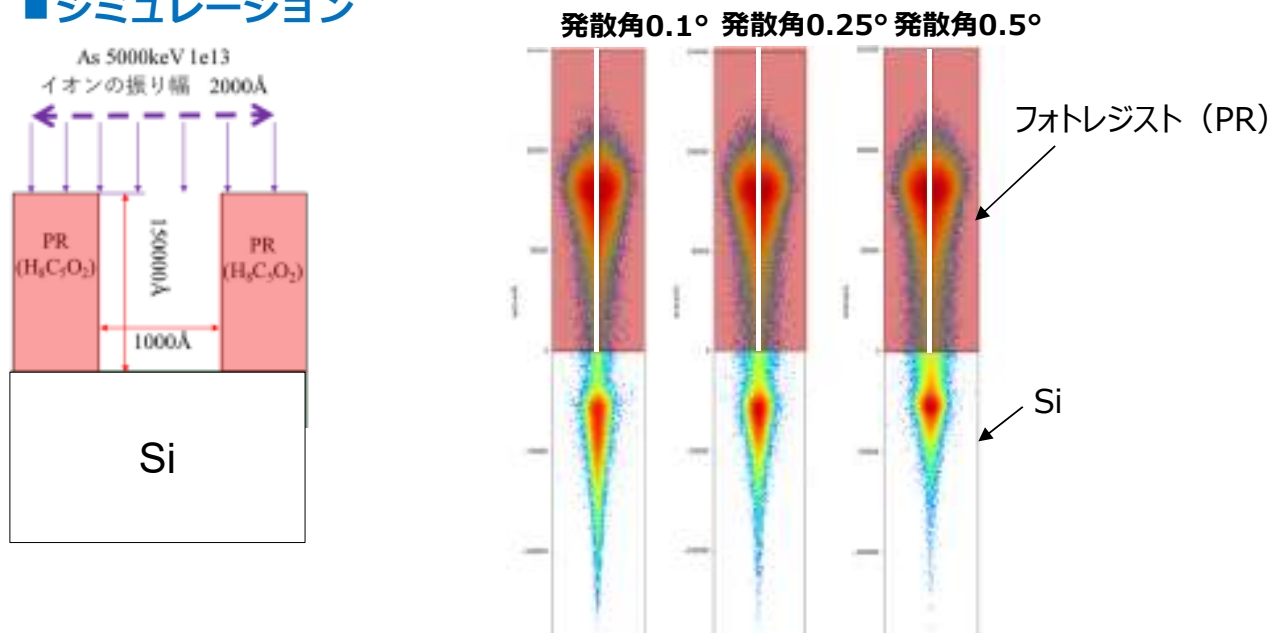
■シミュレーション As, 5MeV→4MeV→3MeV→2MeV→1MeV, $3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$



注入角度（tilt角度）によって、イオンビームの発散角の変化に対するチャネリングの影響が大きく変わる

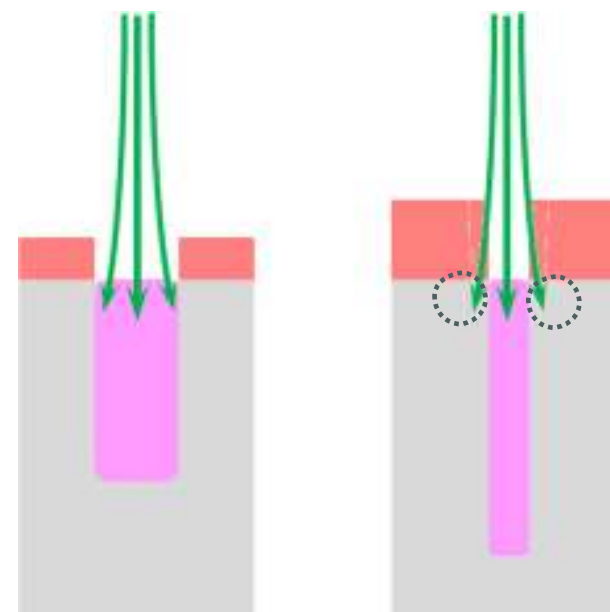
必要なイオン注入装置性能：ビーム発散角度精度

■シミュレーション



発散角	0.1度	0.25度	0.5度
注入量比	-	96%	87%

このシミュレーションでの発散角0.1度に対するSiへの注入量比



微細化及びフォトダイオードの高感度化で、
ビーム発散角の影響が大きくなってくる

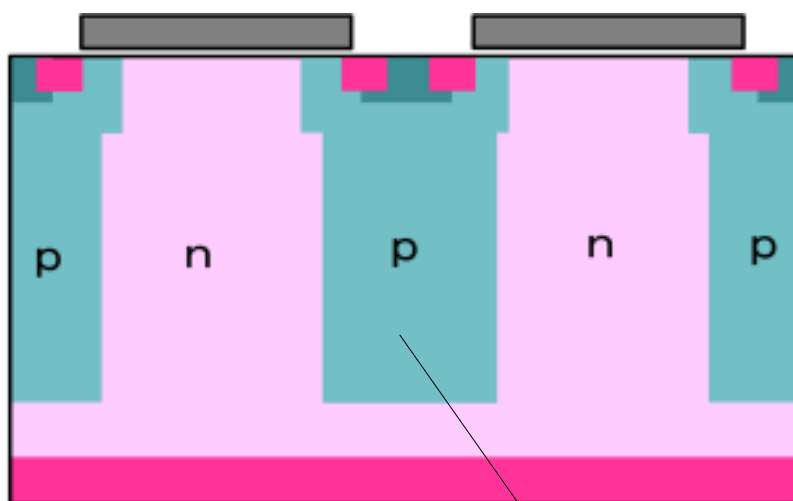
- ・イオンビームの発散角度が変化すると、Siへ到達する注入量に変化
→ PD濃度プロファイル変化 → 電気特性のバラツキ → 画像ムラ、歩留まり低下
- ・高度なビーム発散角度の制御が求められる

目次

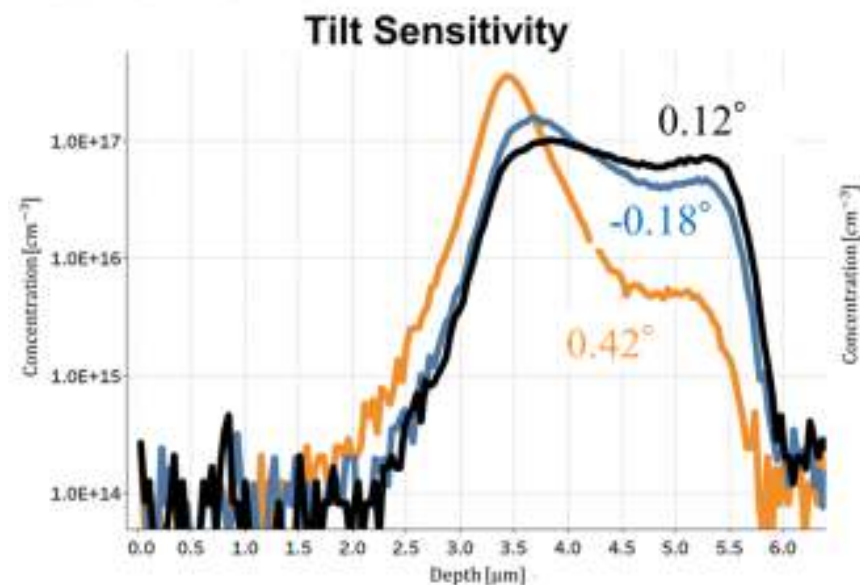
- 半導体
 - 半導体の種類、製造工程、材料とpn接合
- 高エネルギー注入が必要なイメージセンサ
 - 高感度化とフォトダイオード、光の侵入深さ
 - 必要なイオン注入装置性能（注入角度、エネルギー、電流、発散角）
- **SiCでの高エネルギー注入の必要性**
- 高エネルギーイオン注入装置紹介

SiCでの高エネルギー注入の必要性

SiC SJ Structure



SIMS Profiles



SiCのSJと呼ばれる構造では、フォトダイオードと同様に高いエネルギーと注入角度精度が必要となる

目次

- 半導体
 - 半導体の種類、製造工程、材料とpn接合
- 高エネルギー注入が必要なイメージセンサ
 - 高感度化とフォトダイオード、光の侵入深さ
 - 必要なイオン注入装置性能（注入角度、エネルギー、電流、発散角）
- SiCでの高エネルギー注入の必要性
- 高エネルギーイオン注入装置紹介

高エネルギーイオン注入装置に求められる性能

- 注入エネルギー精度 : 高いエネルギーで注入できる
- 注入角度精度 : 正確な角度で注入できる
- ビーム発散角度精度 : 再現よく小さいビーム発散角
- ビーム電流 : 再現よくイオンビームが出せる

- 装置サイズ : 半導体製造FAB内に設置できる
- 放射線遮蔽 : 装置外に放射線を出さない
- 真空補正 : アウトガスによる注入量補正（中性化、価数変換）
- 生産性 : 注入処理に時間がかからない

半導体製造用

高エネルギーイオン注入装置

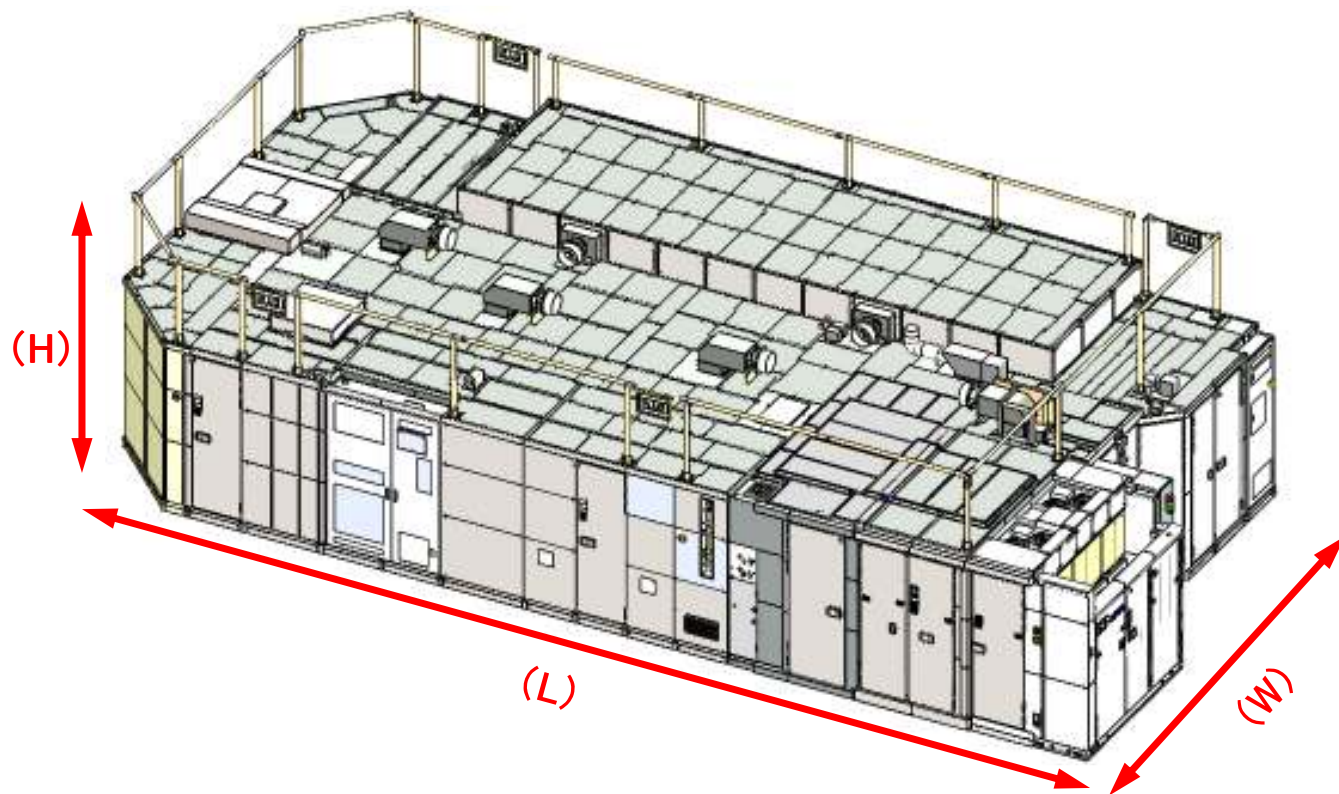
SS-UHE II



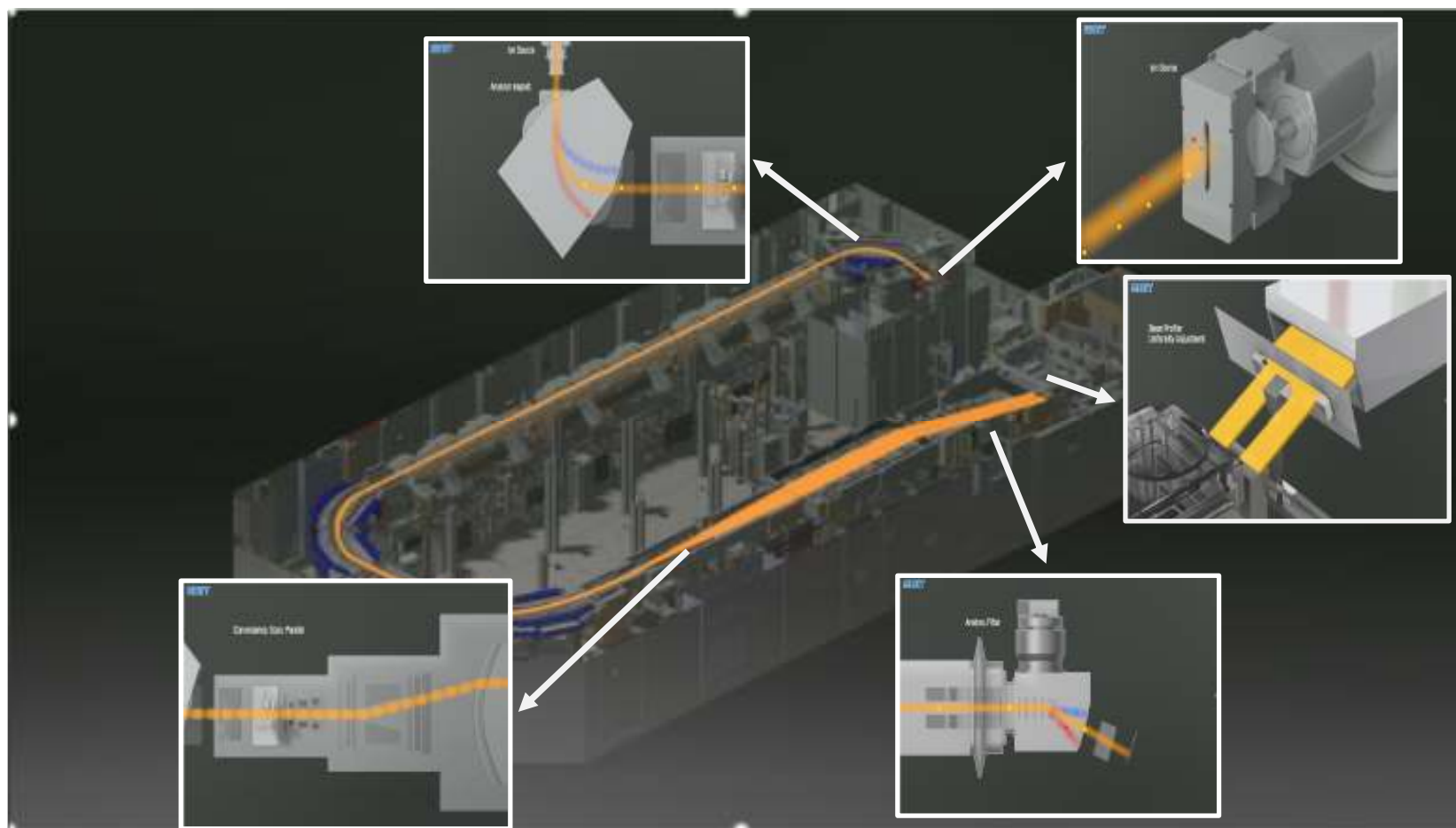
装置サイズ

	SS-UHE II
長さ (cm)	1342
幅 (cm)	642
高さ (cm)	343
重さ (kg)	76,000 *

*B 5MeV以上での中性子線発生のため
中性子線遮蔽材の重量を含む

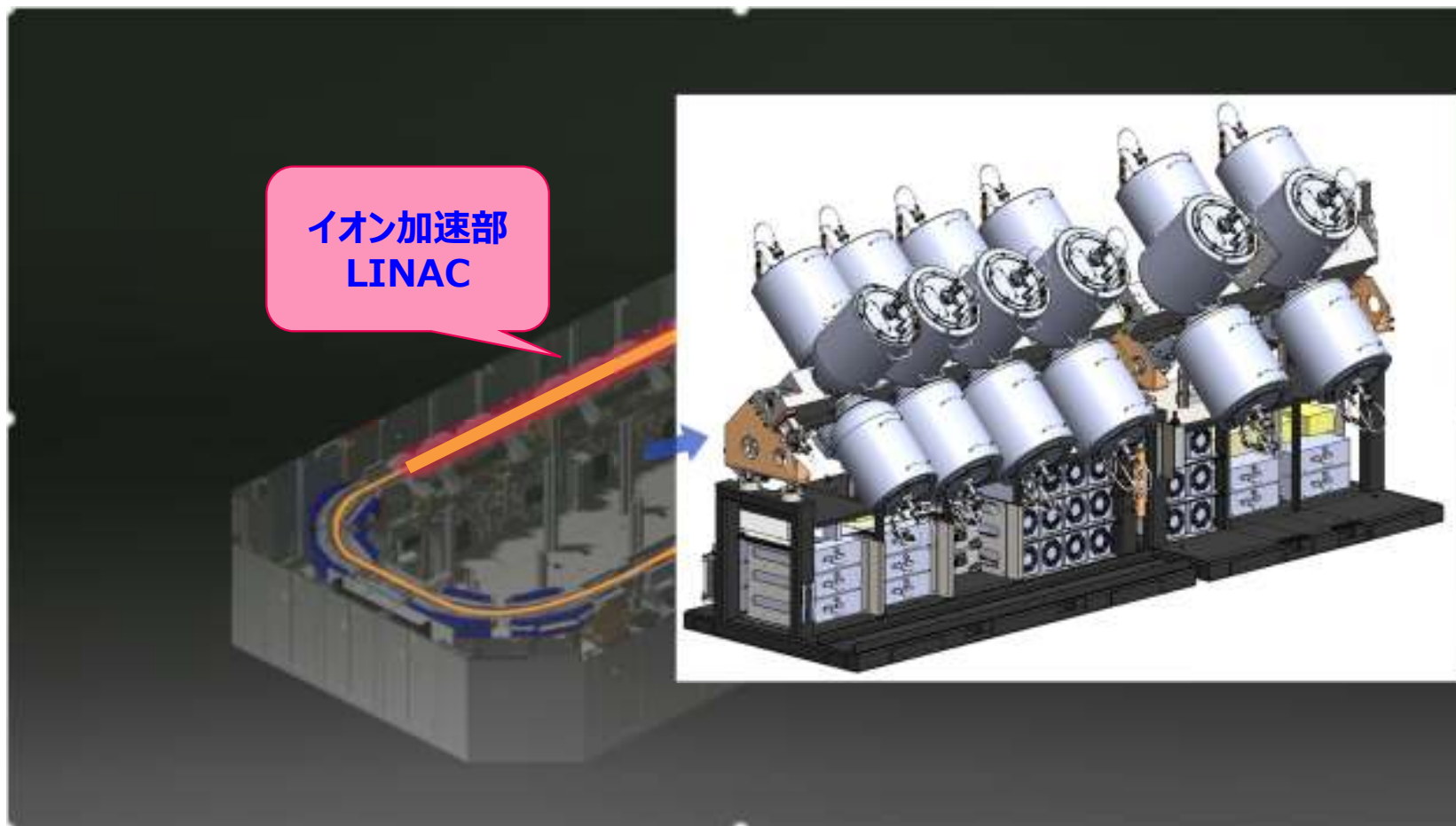


SS-UHE II 装置内部



【最大エネルギー】 B:7.5MeV / P:12.1MeV / As:14.4MeV

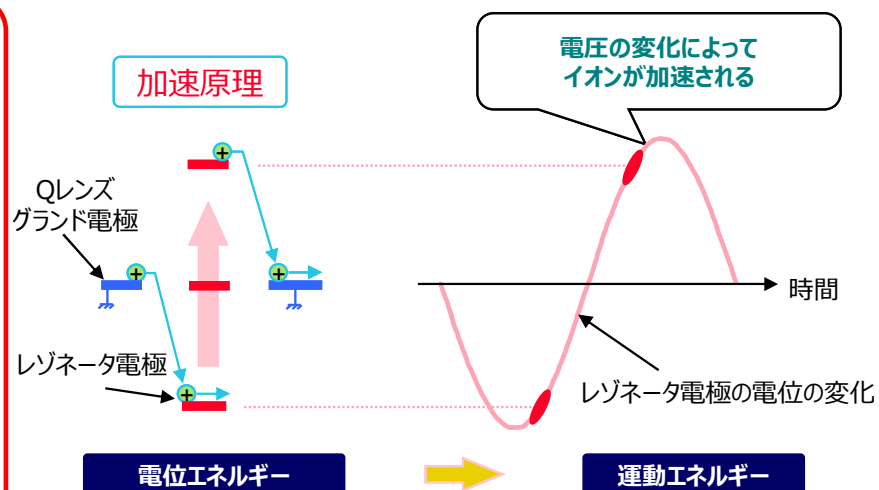
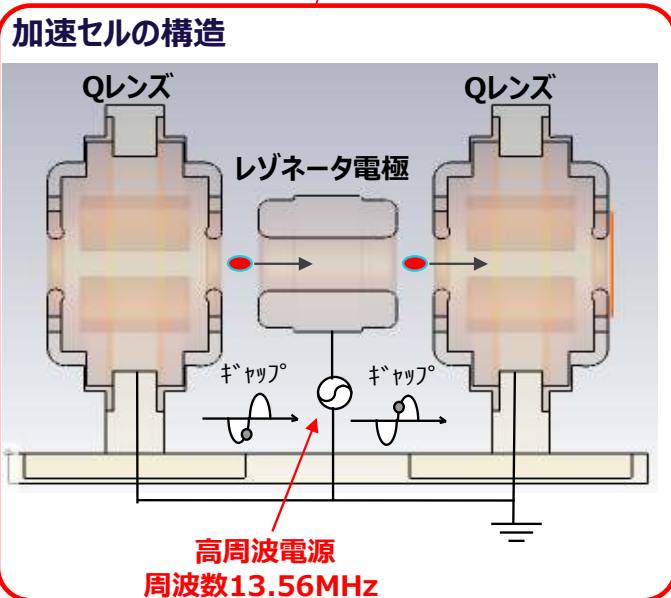
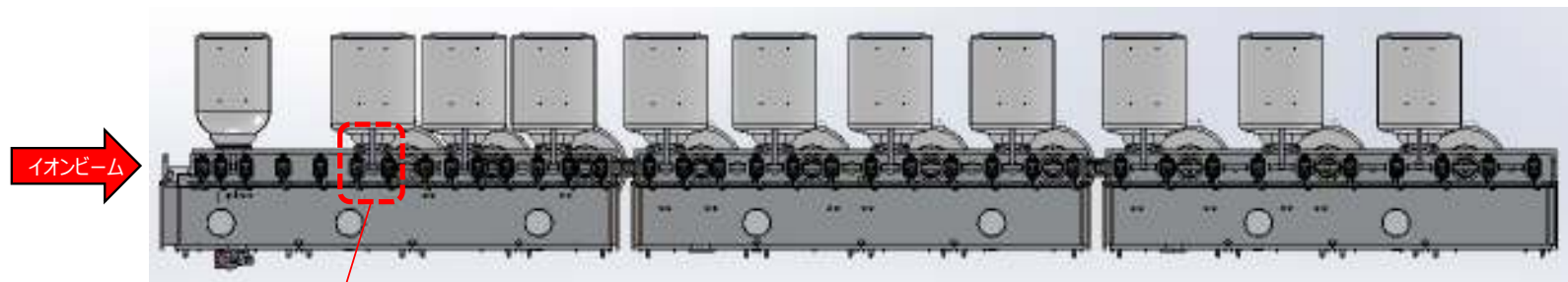
イオン加速部 LINAC



LINAC機能:イオンを任意のエネルギーに加速する

LINACとは

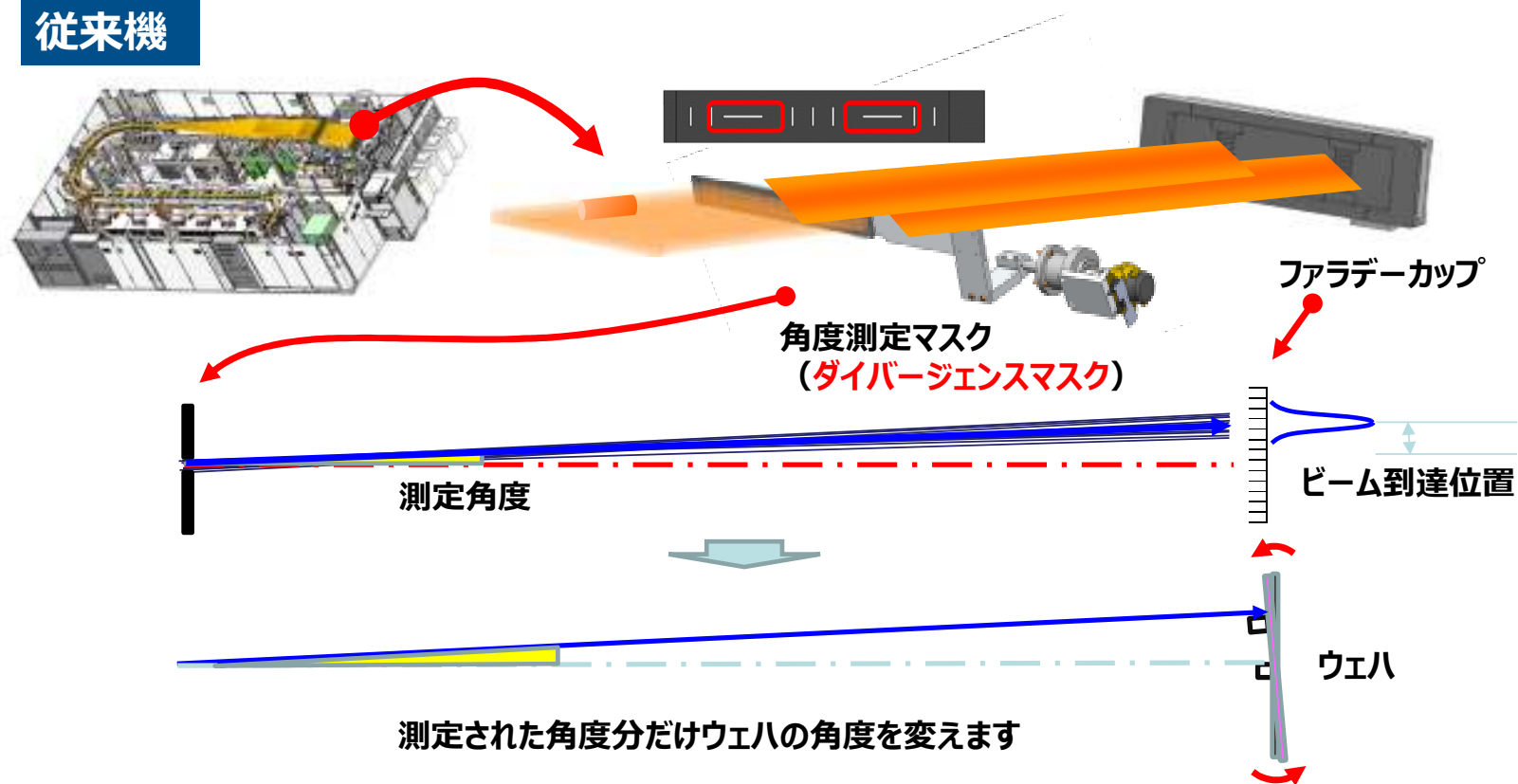
高エネルギー装置ではLINAC(**L**inear **A**ccelerator : 線形加速器)でイオンビームを加速



加速セルを18段 (従来機) → 29段 (SS-UHE) に増加。As3価で、4.6MeV → 11MeVに増加

注入角度測定精度

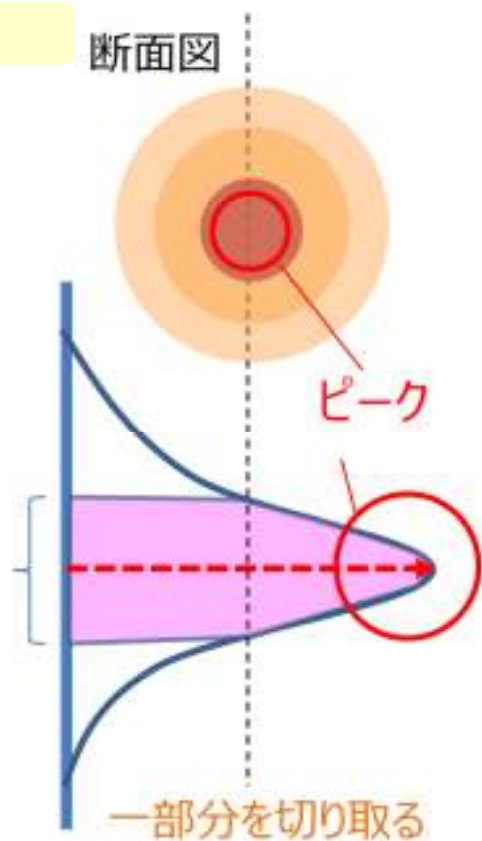
従来機



測定されたビーム角度分だけウェハの角度を変更することによって常に一定の角度で注入します

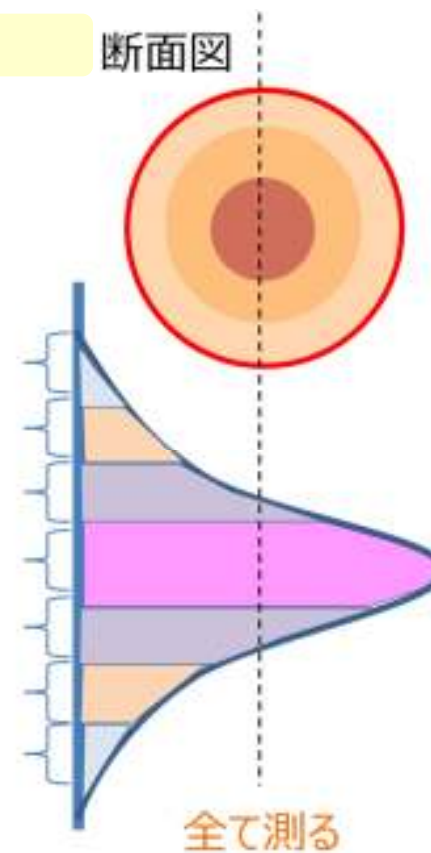
注入角度測定精度向上

従来機



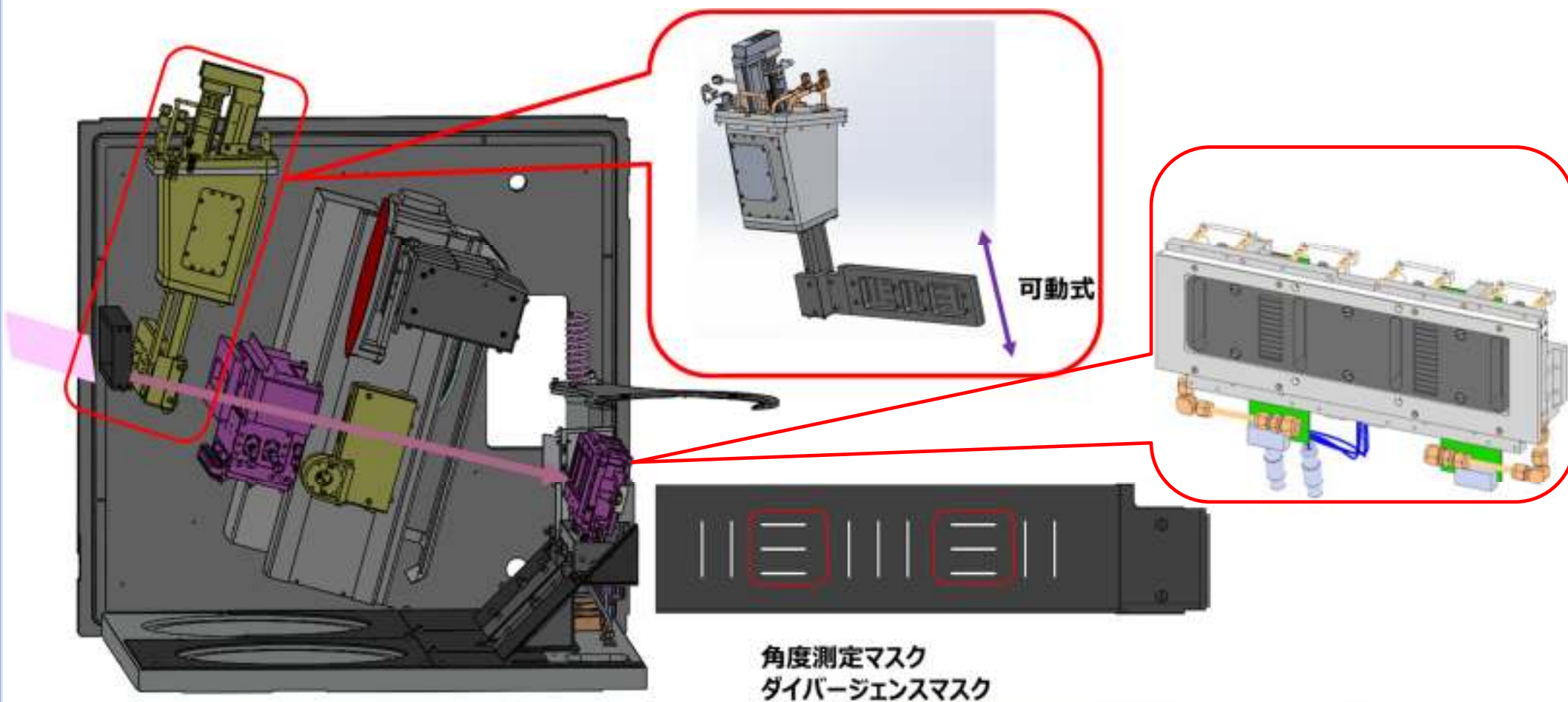
SS-UHE II

断面図

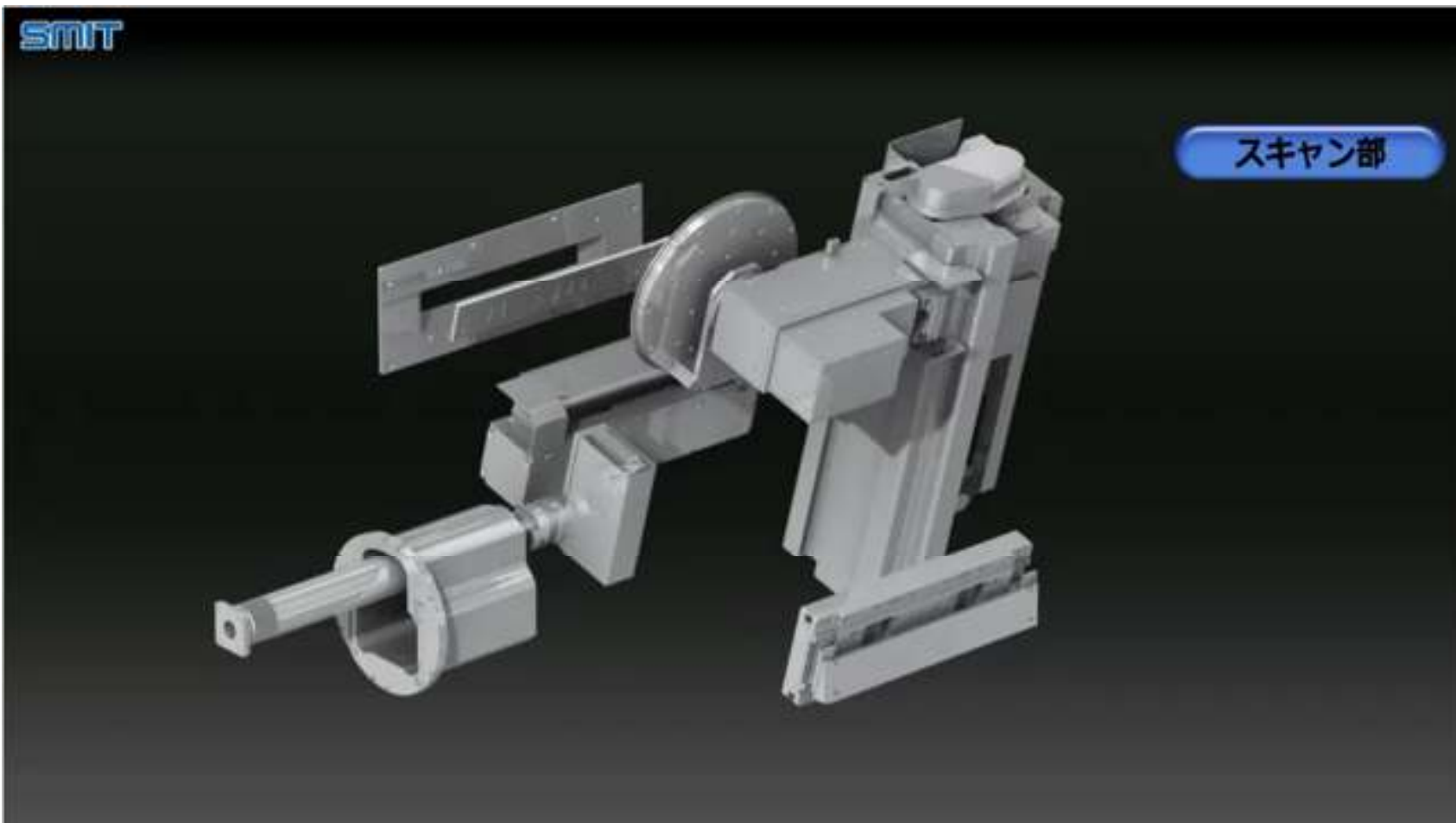


- ・従来機ではビーム成分の一部を切り取るためピークがずれた場合精度低下する
- ・SS-UHE IIでは、マスクを移動させて全ビーム成分を測定する機構を開発した

注入角度測定精度向上 可動式ダイバージェンスマスク



注入角度測定精度向上（測定イメージ）

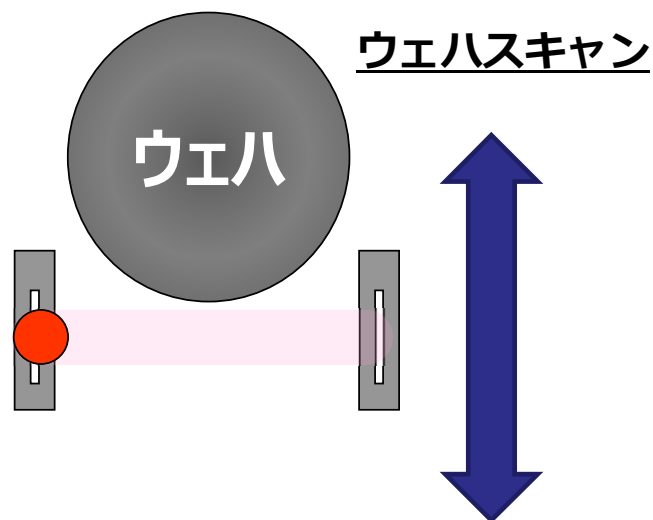


SS-UHEではダイバージェンスマスクを用いて、ビーム分布の全体の角度を計測することにより、測定精度を向上

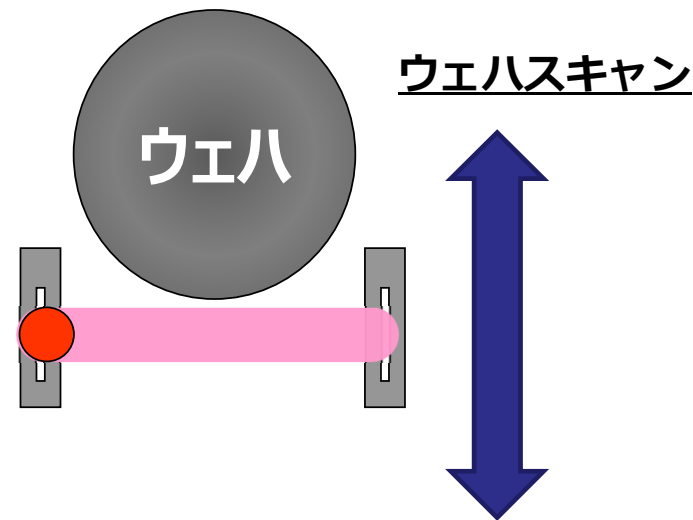
生産性Up (高速ウェハスキャン)

S-UHE (従来機)

SS-UHE II



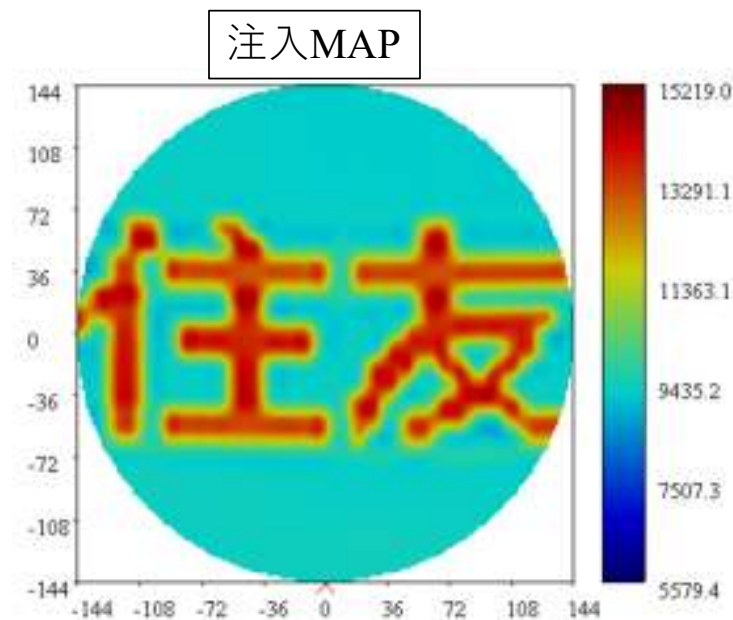
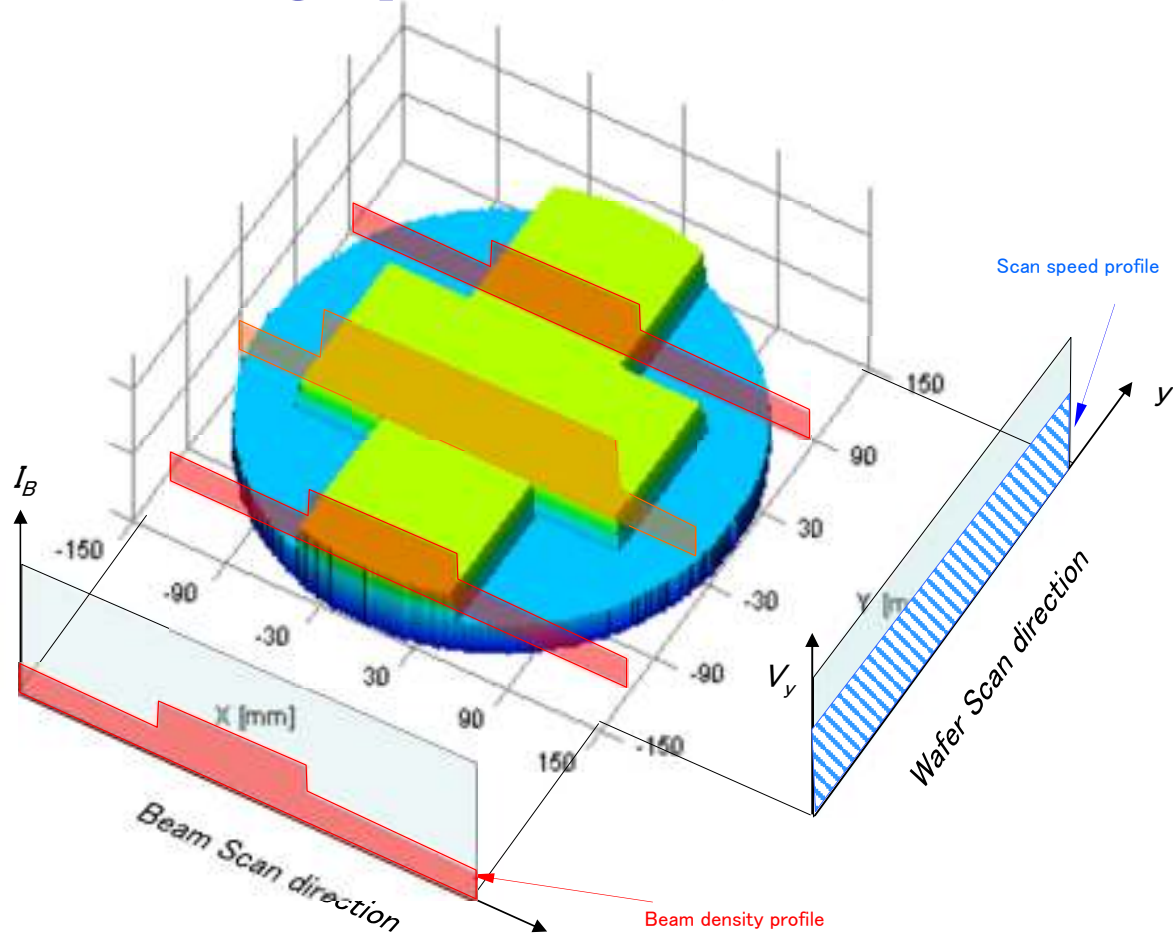
注入するイオン量が少なく、ウェハスキャン速度が遅い場合、イオンが照射される時間が長くなり、ビーム電流を下げざるを得ない



ウェハスキャン速度を上げることにより、ビーム電流を上げることができる

ウェハスキャン速度を220mm/s (従来機) から400mm/sに上げることによりビーム電流を増加させ注入時間を短縮し生産性を向上

意図的な不均一注入



ビームスキャンプロファイルとウェハスキャン速度のコントロールにより、目的とする不均一な注入を実現します



以上 ご静聴ありがとうございました。