

KEK状況報告

LUCX/cERLの状況(照沼)

ミラーダメージの理解

LUCX X線エネルギーの改善

超伝導薄膜の進捗(早野/佐伯)

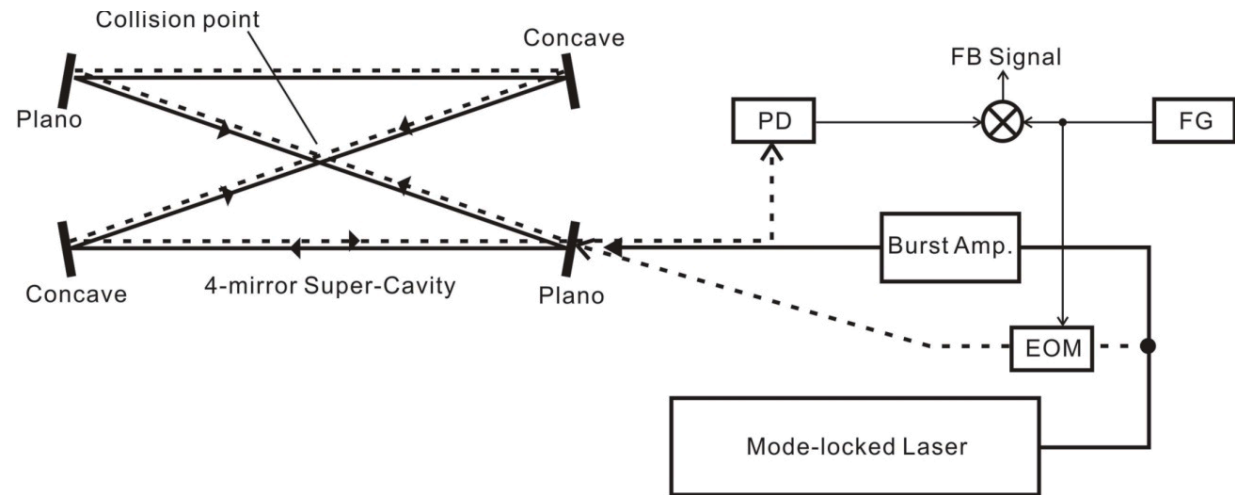
平成27年12月15日 第14回全体会議@京都大学

cERL:共振維持対策を継続

FRI MAY 08 11:17:02 2015



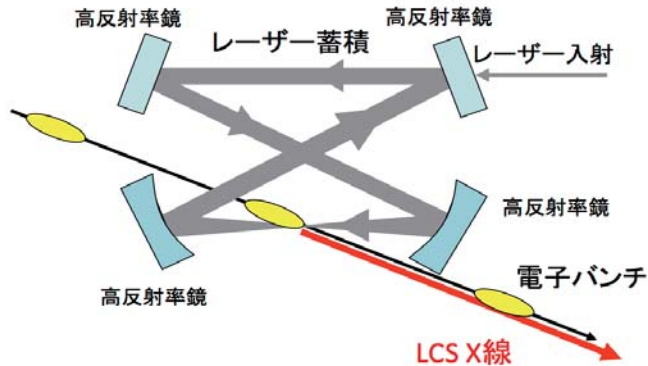
cERL 共振器フィードバック系の改善 ← LUCXの技術



- 次回のcERL運転準備再開は1月末；超伝導空洞冷凍開始
- それまでに、光共振器フィードバックをLUCXで開発した逆周回PDH法に移行するために改造をしていた。
- **10月末に45Wレーザー故障、急遽メーカー(スイス)に移送。**
- ビーム運転(3月)までに戻るのは困難か？
- H27春の時点では不安定で使用を見送った100Wレーザーがある。これを改善し使用する準備に取りかかっている。

大強度レーザー蓄積技術開発

レーザー蓄積光共振器開発 (LUCX)



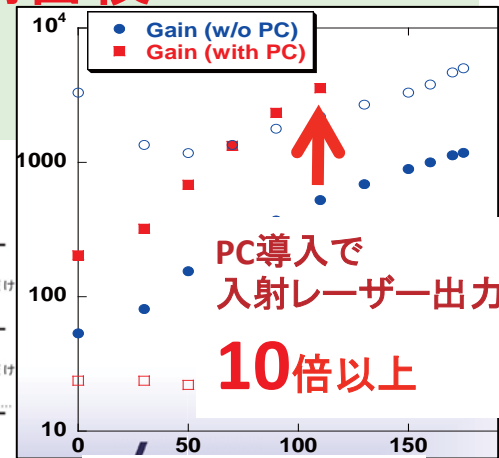
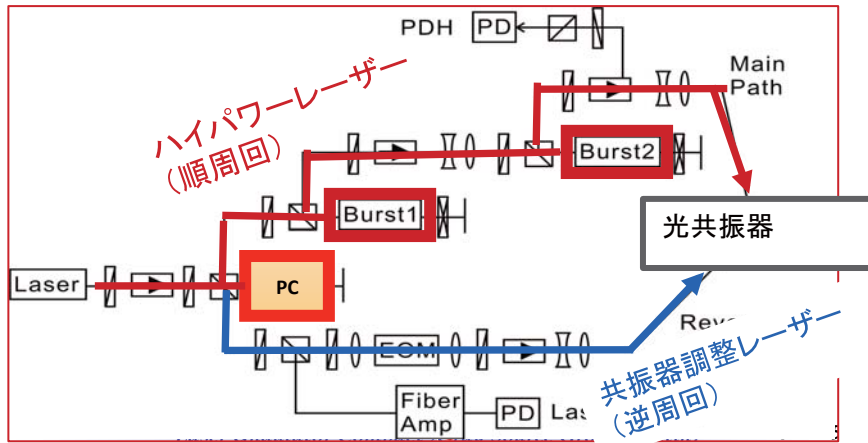
パルスレーザー蓄積の高度化

357 MHz, 10 usec, 繰り返し 3.1 Hz

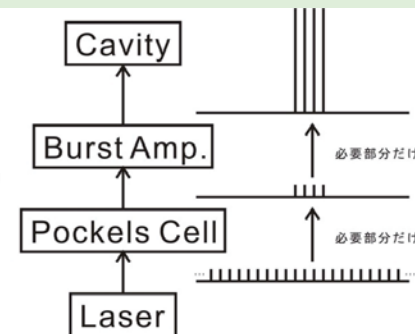
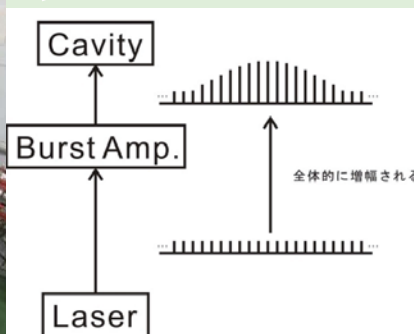
課題開始時の蓄積レーザーパワー: **100 kW**

- 逆周回フィードバック技術
- バースト増幅
- 光共振器環境の改善(清浄化、振動対策)
- 蓄積レーザーパワー: **300 kW** (2015年)

ポッケルスセル導入によるバースト増幅 効率化→レーザー高蓄積



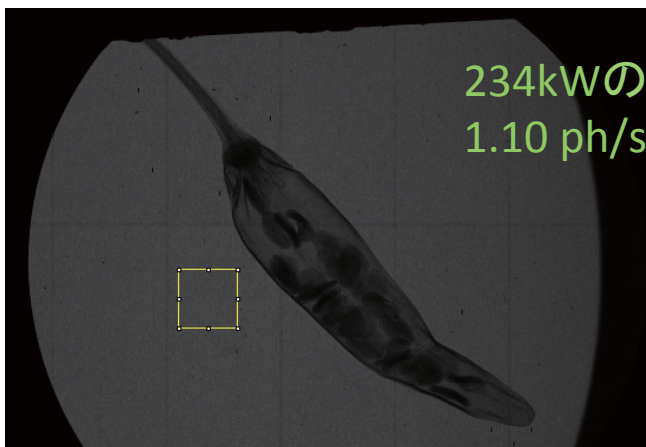
バーストアンプ電流 (A) →



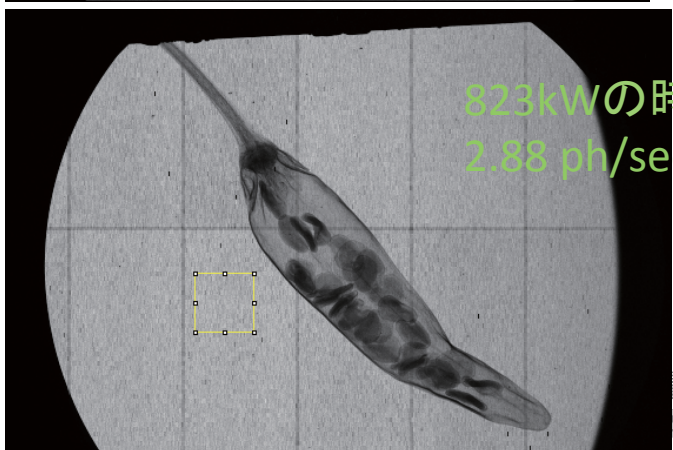
ポツケルセル試験時のX線数

蓄積パワーを上げながら、X線数も測定した。

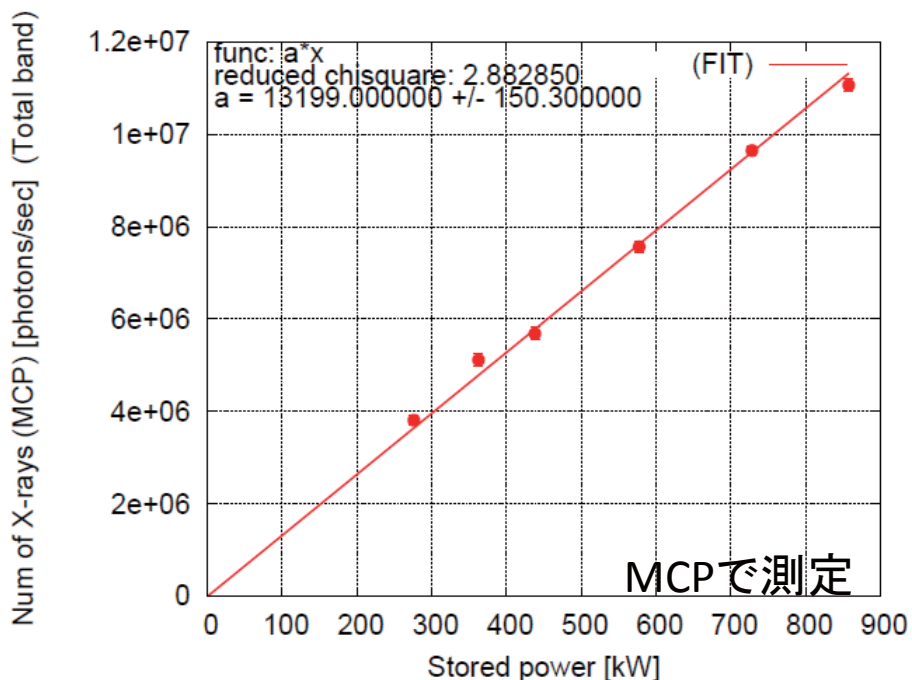
860kWのときで、 1.1×10^7 photons/sec (3.5×10^6 photons/train)となった。



234kWの時
1.10 ph/sec/pixel



823kWの時
2.88 ph/sec/pixel



Pockels Cell・レーザー増幅蓄積試験 (H27年9月)

最大1 MW (peak平均)の蓄積を確認

10秒後にミラー破損。直前の860 kWまでは安定に蓄積し、X線数も比例して増加。

破損条件の理解 (レーザー耐力試験、破損状況の理解、.....)

→ 高強度ミラーへの指針

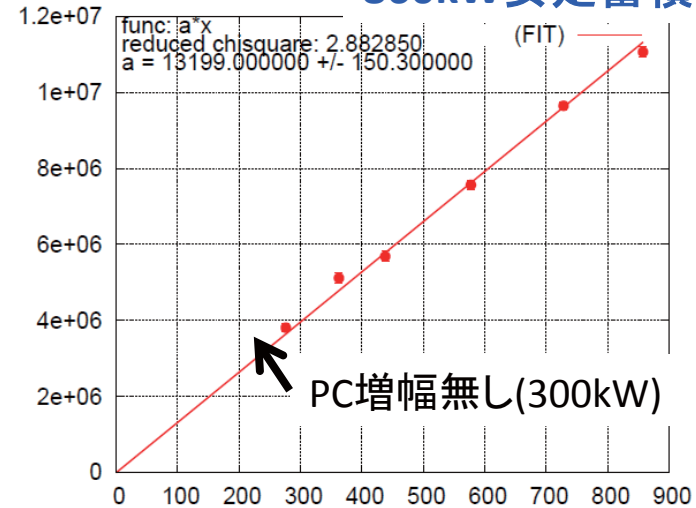
平行して、

衝突点レーザー径を小さくする、結果的にミラー上のスポット径を大きくすることに

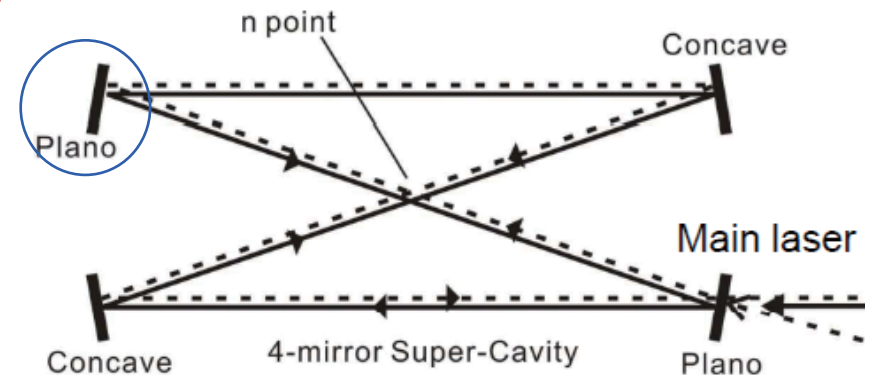
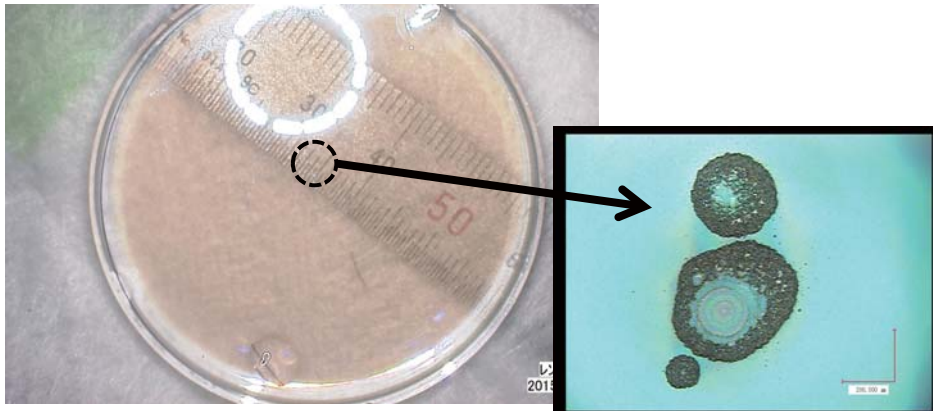
→ レーザー密度の緩和

→ さらに蓄積強度を上げる

860kW安定蓄積



光共振器蓄積peak平均パワー(kW)



高・レーザー耐力の理解と 高レーザー蓄積のための高反射率ミラー技術 のために

以下の機関を訪問し、現場見学および打ち合わせを行った。(本田、小菅、赤木、福田)

レーザー耐力試験

- レーザー技術総合研究所(大阪)

高反射率ミラー製造

- 島津製作所 本社・三条工場(京都)
- シグマ光機 本社・日高工場(埼玉)

レーザー耐力評価試験

- ◆ お問合せ・お見積もりは[こちら](#) ◆ [依頼書 \(MS Word ファイル\)](#)
- ◆ ご案内 (PDF版) は[こちら](#) ◆ [報告書 \(例\) はこちら \(PDF\)](#)

レーザー装置の利用可能なエネルギーは、使用される光学部品がレーザー光に対して損傷を起こさないエネルギー強度、“レーザー損傷閾値 (DT : Damage Threshold)” で決定されます。このDTを基準として、レーザー装置の出力エネルギーを制限しなければなりません。レーザー技術総合研究所では、永年、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターと共同で、大出力レーザーの開発、それに使用される光学素子の開発を行ってきました。そこで培われた光学素子のレーザー損傷の評価技術を広くメーカー、ユーザーの皆様提供します。

基本的な損傷閾値の評価方法に、1ヶ所に1回 (1パルス) 照射を行い、場所、照射エネルギーを変えて繰り返し試験をする方法、1-on-1 があります。

Nd : YAGレーザー発振器 (波長1064nm、パルス幅10ns) から出力されたレーザーパルスは、増幅器ユニット内でパルス幅を調整された後、YAG増幅器1台で増幅されます。その後、レーザーパルスは長焦点レンズで試料上に集光され損傷を評価します。試料上の照射強度は、ビームの一部を取り出し、エネルギーメータと試料上のビームをイメージしたCCDカメラにて測定します。

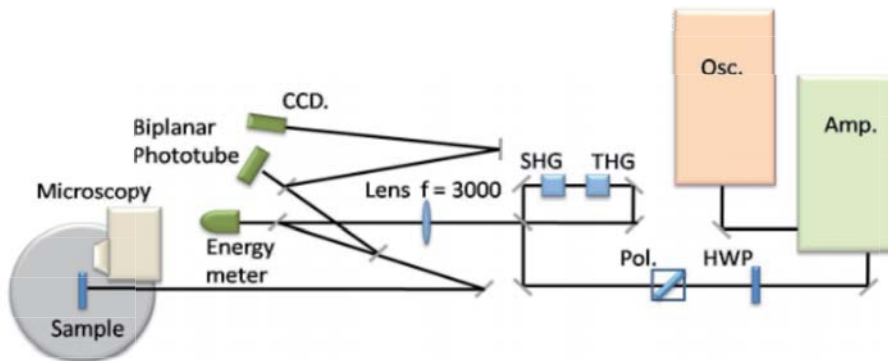


Fig. 1 Laser-induced damage facility

我々が所有しているミラーの損傷評価試験結果

損傷評価試験 (1064nm, 1-on-1) の速報結果。
送った中ではLMAのミラーが一番耐久性が高かった。

評価結果

LUCXで使用したミラー(赤字)

2015.12.7

- **SOC 99.99% Flat**
- SHIMADZU 99% Flat
- **LMA 99.7% Flat**
- **LMA 99.99% concave**
- MPQ(LAYERTEC)

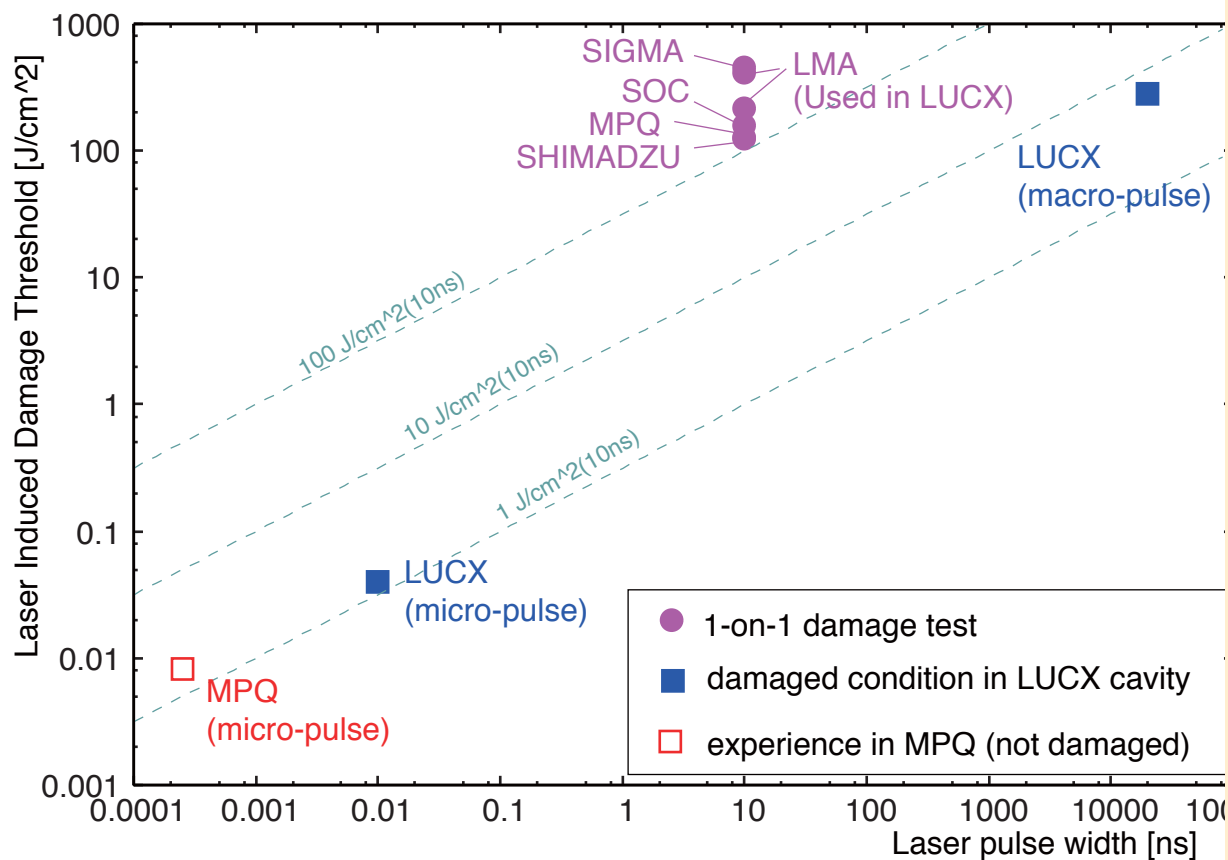
No.	メーカー	Lot No.	損傷しきい値 [Jcm ²]
1	SOC		159
2	SHIMAZU		126
3	Coastline optics	SA3032B	>413
4		SA3030R-F	215
5	追加試料		127

※ 損傷しきい値は、照射ガウス分布強度のピーク値で表記

※ No.3 は、現状の最大エネルギーで10点照射しても損傷が生じなかったため、「>」とした。

レーザー総研の
速報結果より⁹

耐性試験のまとめ



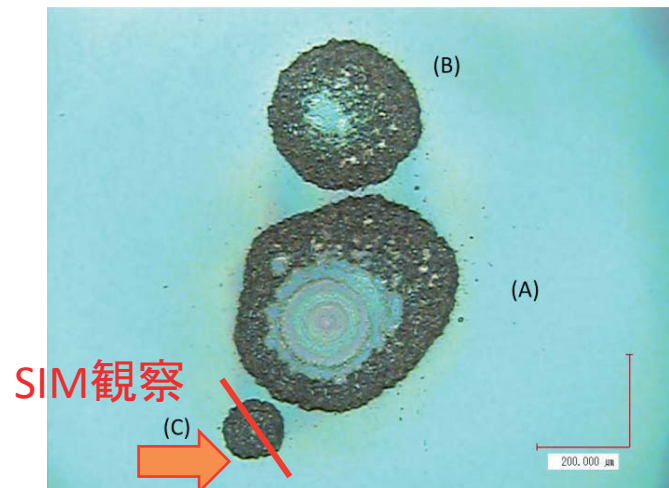
LUCXで使用しているLMAミラーは非常に良い。天文台/SIGMAと同程度（測定限界以上）であった。耐性試験（破壊閾値）と同じくらいで損傷。しかし、レーザーのパルス幅に対する経験則（破線）が成り立つとするとまだ余裕はあるはず。

MPQ(CW, 600kWの実績)から入手したミラーは特殊というものでは無い結果であった。

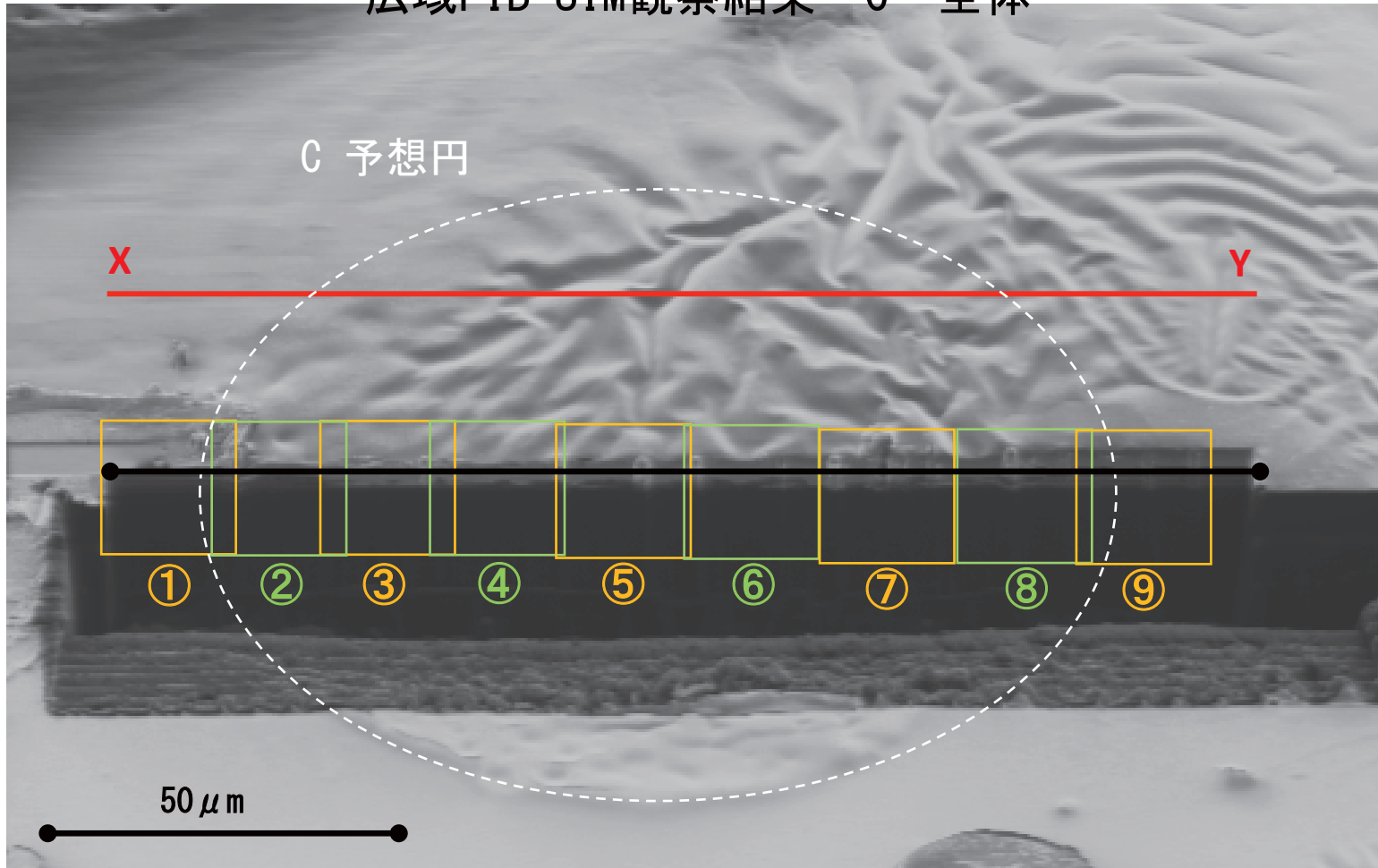
ミラーの表面分析

ダメージを受けたLMAのミラーをイオンテクノセンターに送って表面分析をしている。
FIB-SIM像にて斜め断面観察の結果が来た。

ダメージ箇所である円状の断面全容の形状観察。(cの全領域を加工観察)
他のダメージ部分と被らないように観察する方向を斜めにした。



広域FIB-SIM観察結果 C 全体



撮影倍率 × 1,000

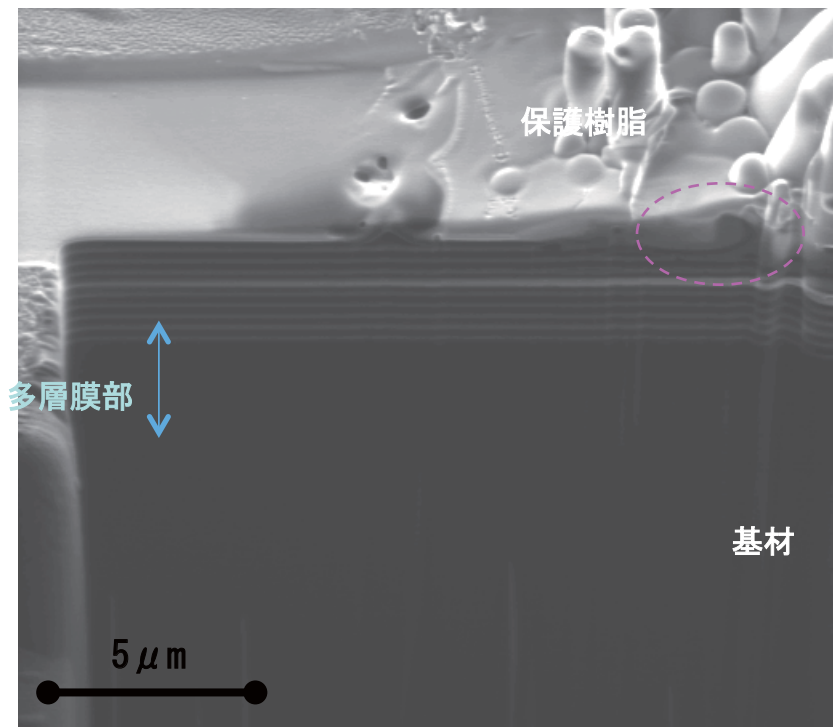
45° 傾斜

(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

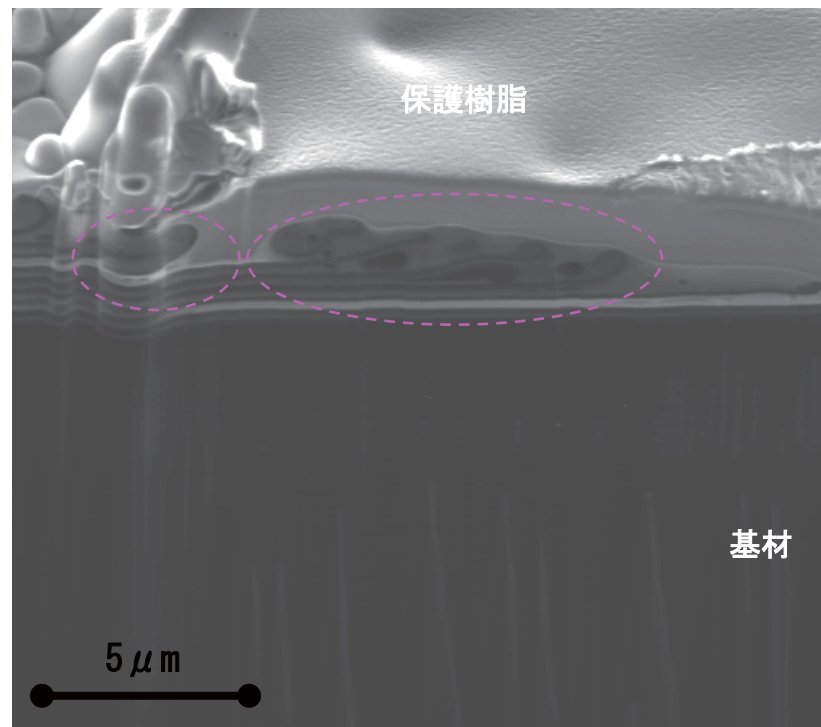
広域FIB-SIM観察結果 C 断面X-Y 拡大①、②

反射膜のみ損失？基材が目立った損傷は見られない。

①



②



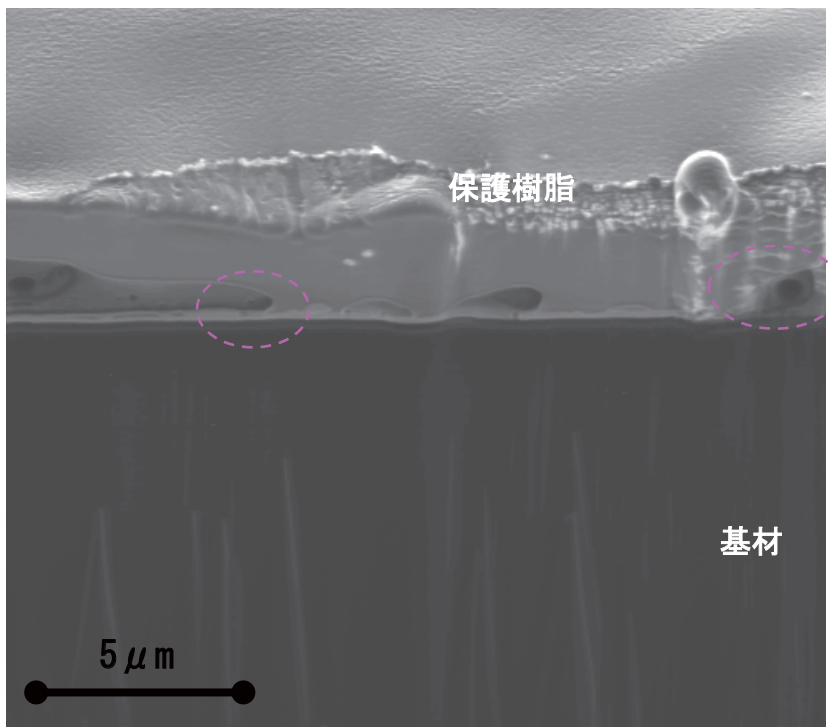
撮影倍率 × 10,000
45° 傾斜
(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

消失端部

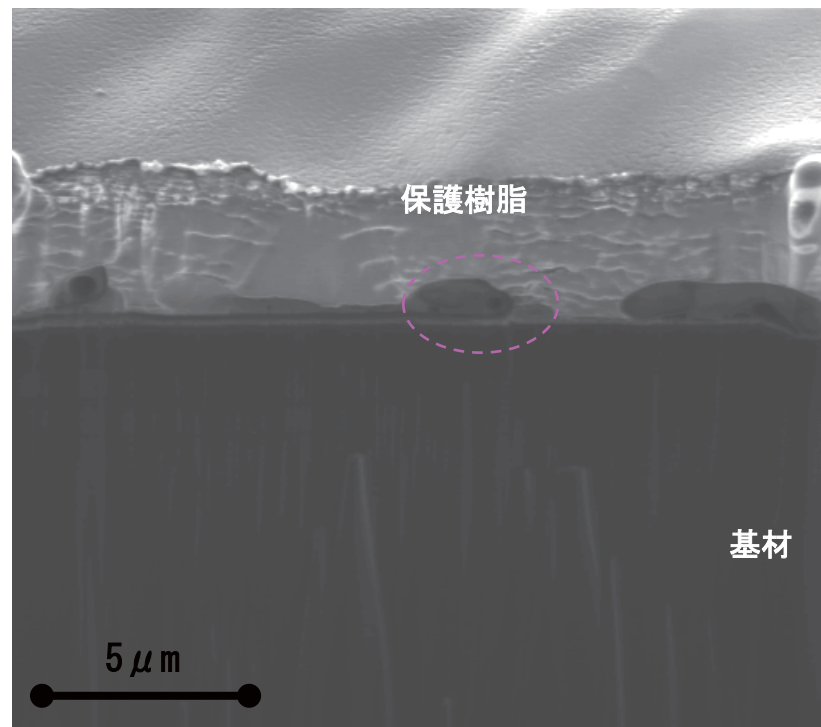
広域FIB-SIM観察結果 C 断面X-Y 拡大③、④

反射膜のみ損失？基材が目立った損傷は見られない。

③



④

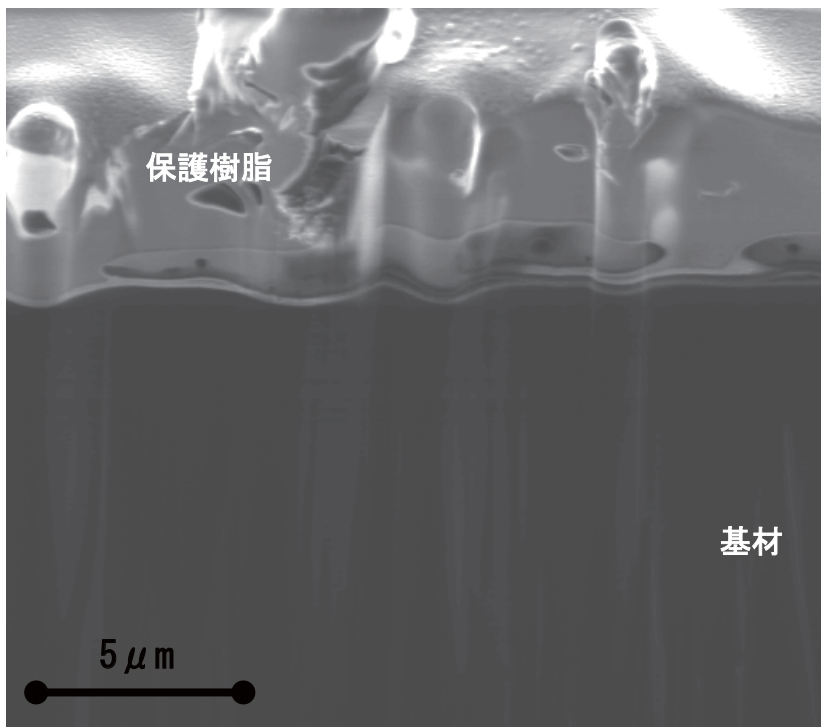


撮影倍率 $\times 10,000$
45° 傾斜
(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

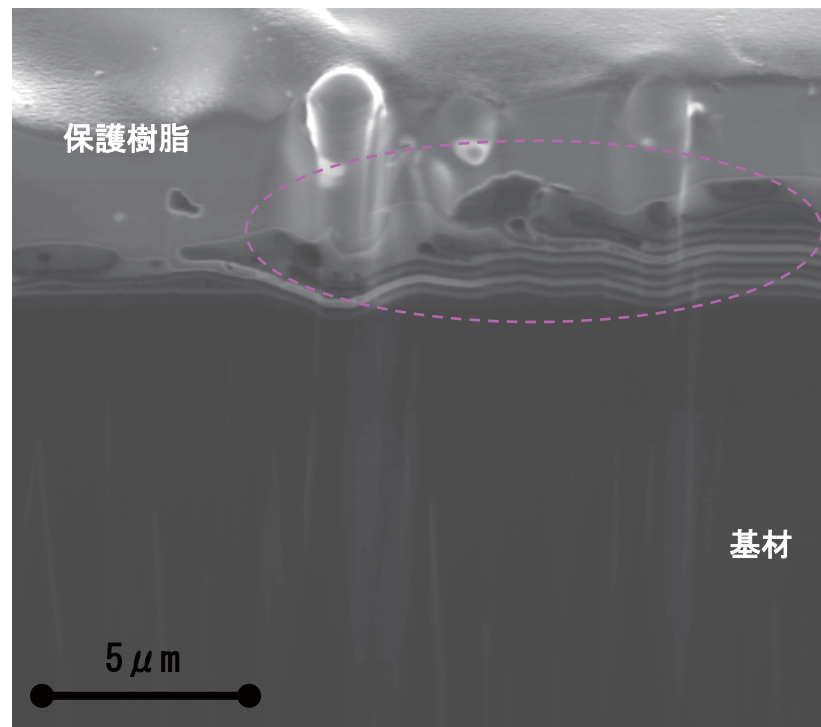


広域FIB-SIM観察結果 C 断面X-Y 拡大⑦、⑧

⑦



⑧



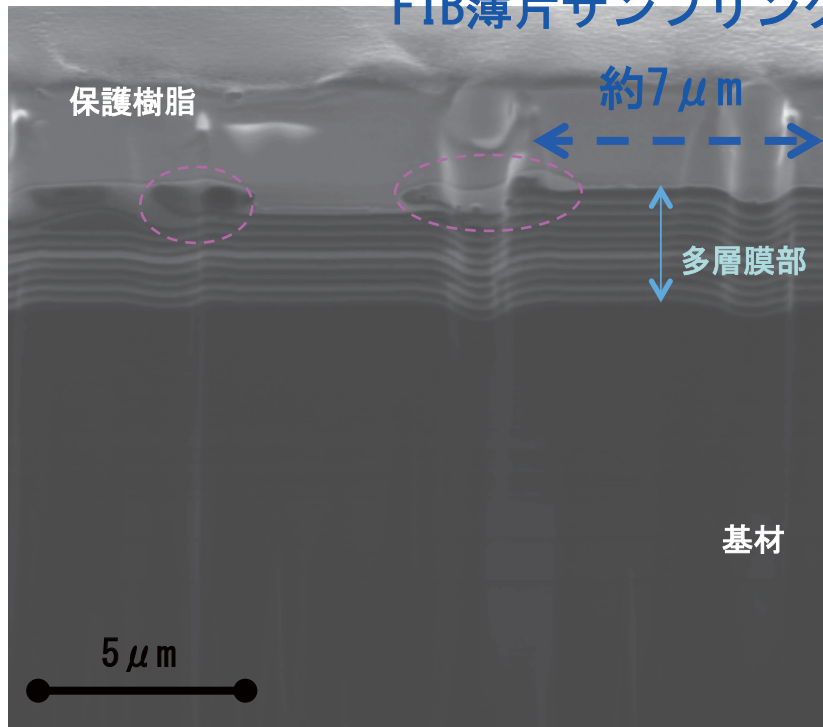
撮影倍率 × 10,000
45° 傾斜
(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)



次の工程

⑨

STEM-EDX用
FIB薄片サンプリング位置



EDX分析箇所：表面側から4層

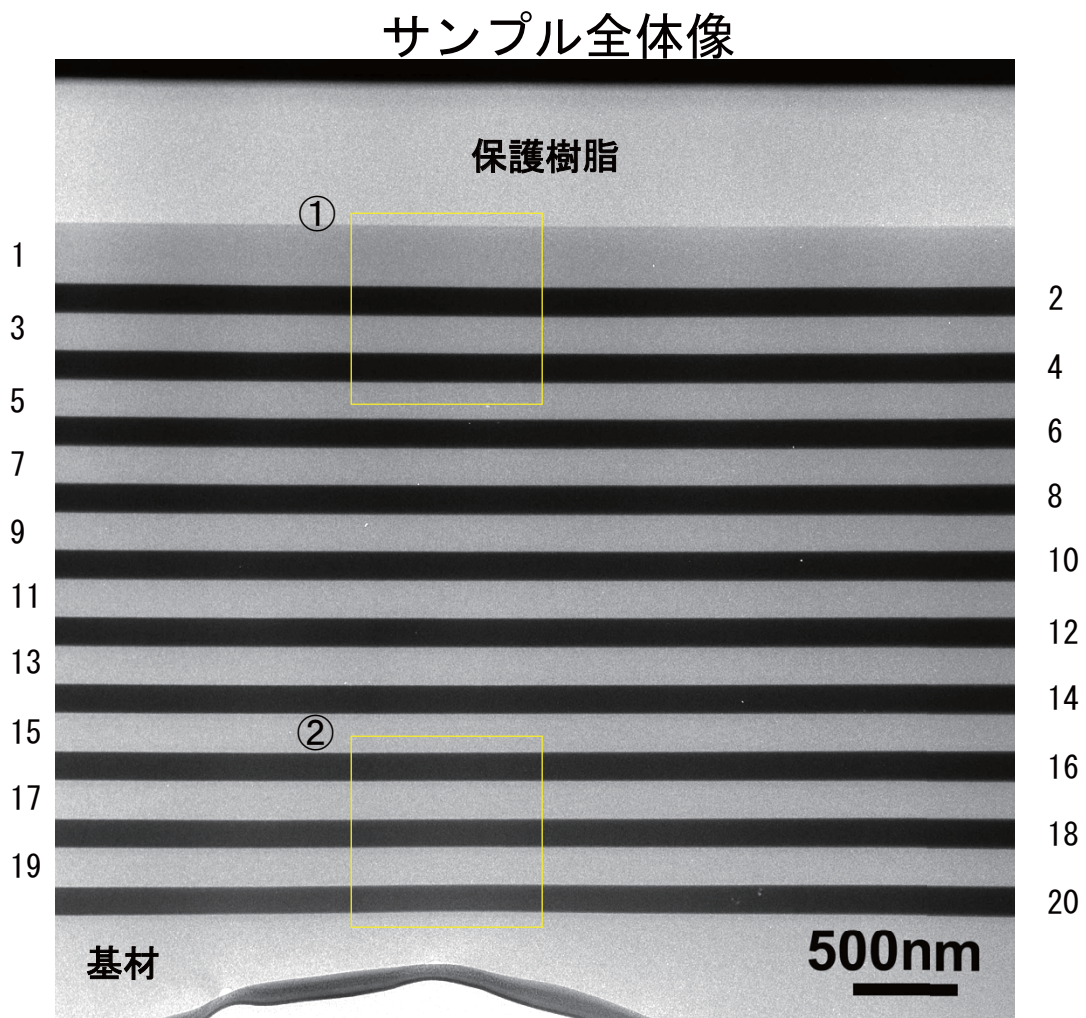
撮影倍率 $\times 10,000$

45° 傾斜

(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

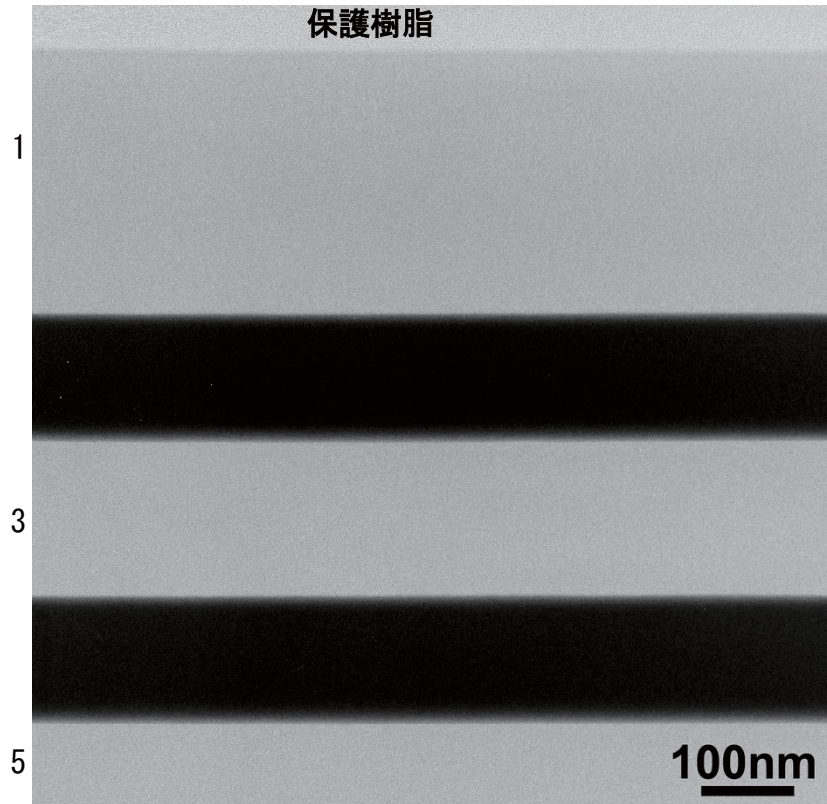
消失端部

表面分析：TEM観察結果（正常部）



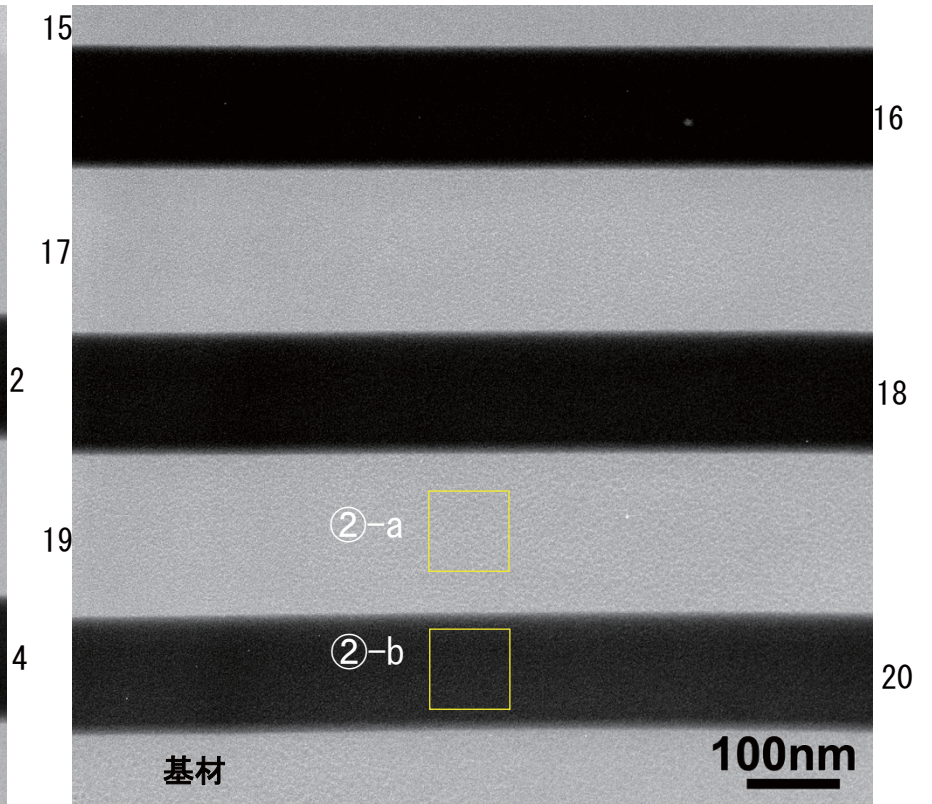
サンプル拡大像 ①、②

①



撮影倍率 50,000倍

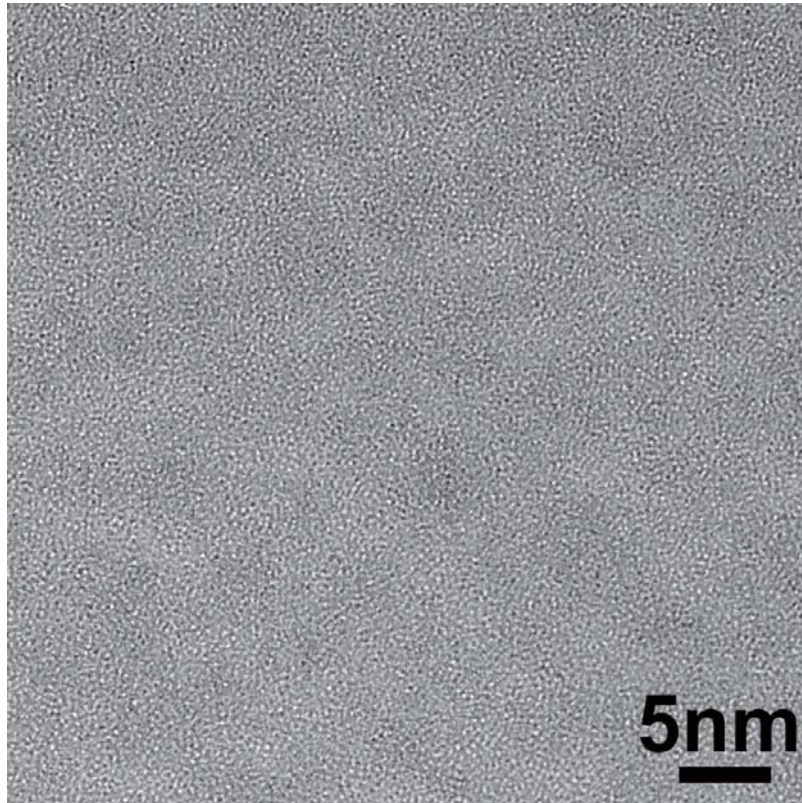
②



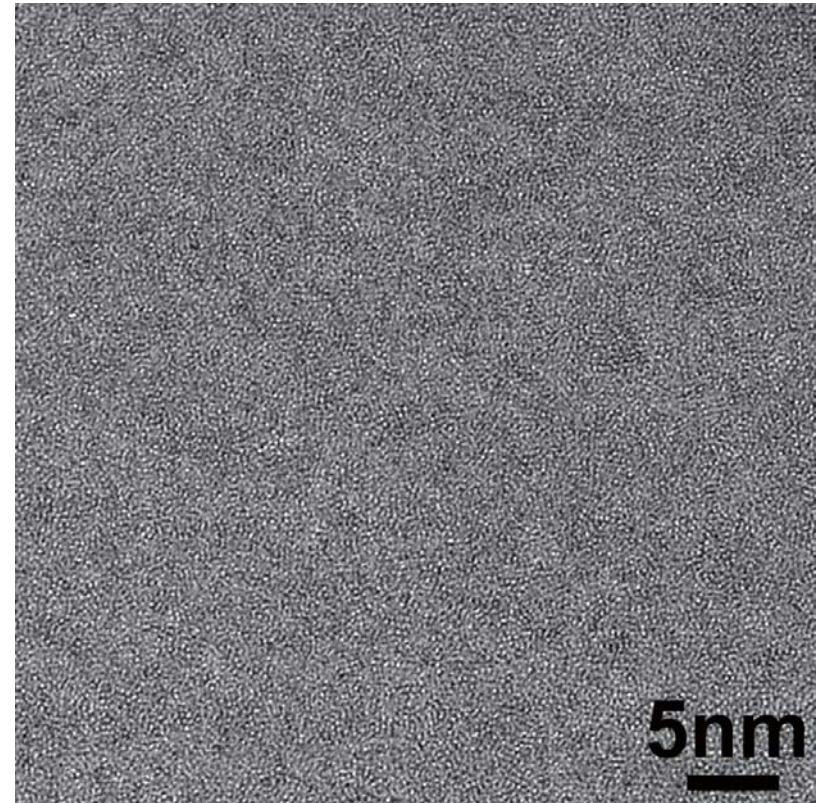
撮影倍率 50,000倍

サンプル拡大像 ②-a、②-b中央部の拡大

きれいなアモルファス状態

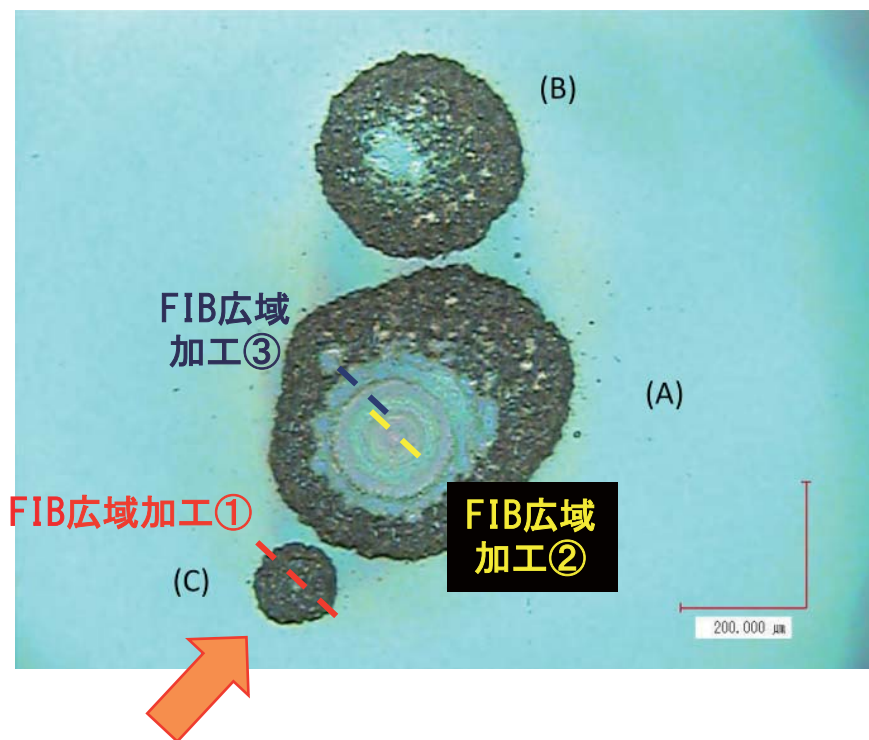


②-a中央部の拡大像



②-b中央部の拡大像

同心円部分の表面分析



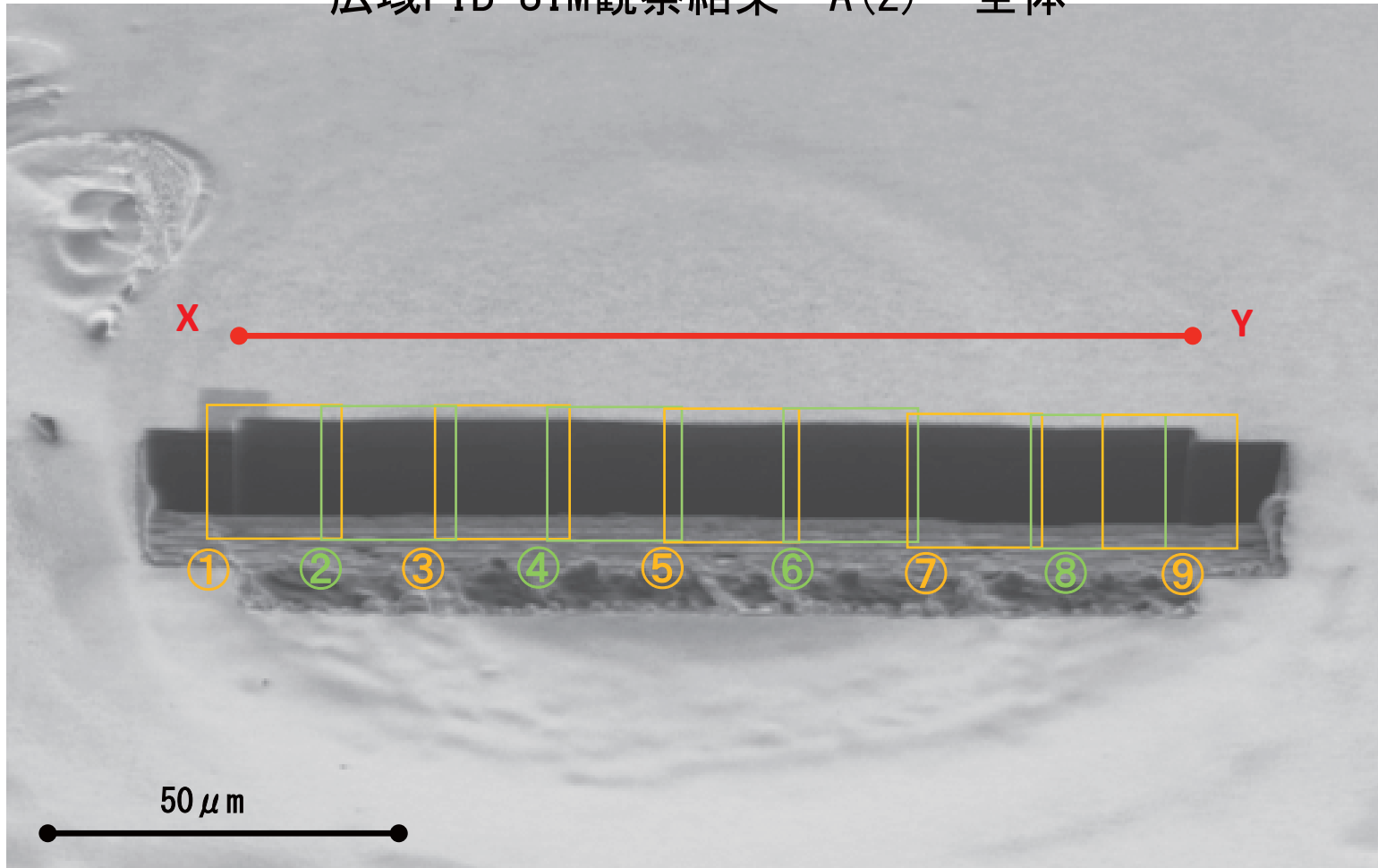
TEM, STEM-EDXは、ノーマル部分でやることにした。これで、多層膜の断面状態や組成が分かる。この分析で多層膜の断面状態はFIB-SIMより、きれいにみえるので、ノーマル部分はFIB-SIMはやらない。

同心円部分は、FIBの加工幅から2か所に分けて分析することになる。ここで、FIB-SIMで断面観察をする。

SIM観察方向

TEM : Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡)
EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)(エネルギー分散型X線分析)

広域FIB-SIM観察結果 A(2) 全体



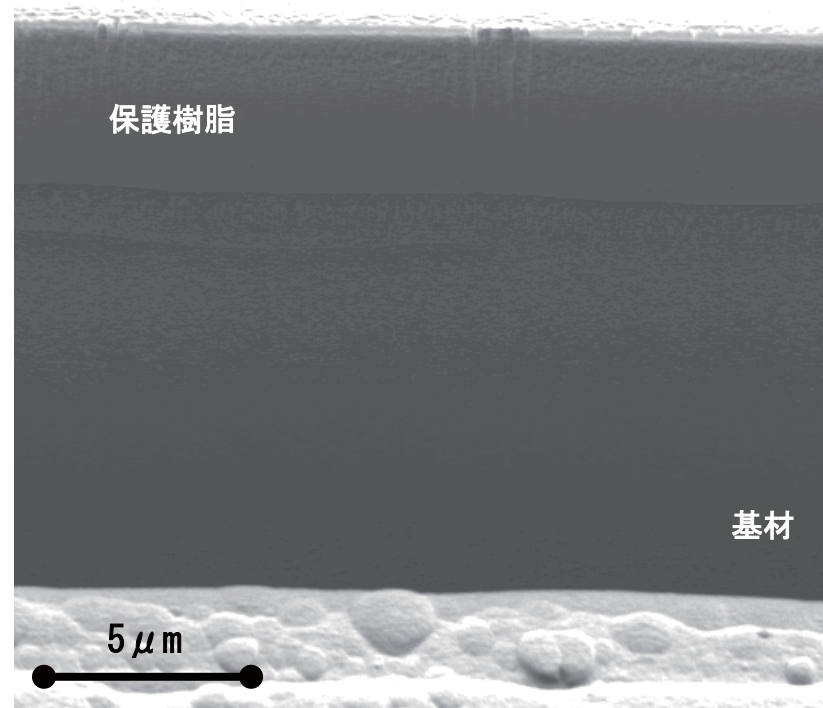
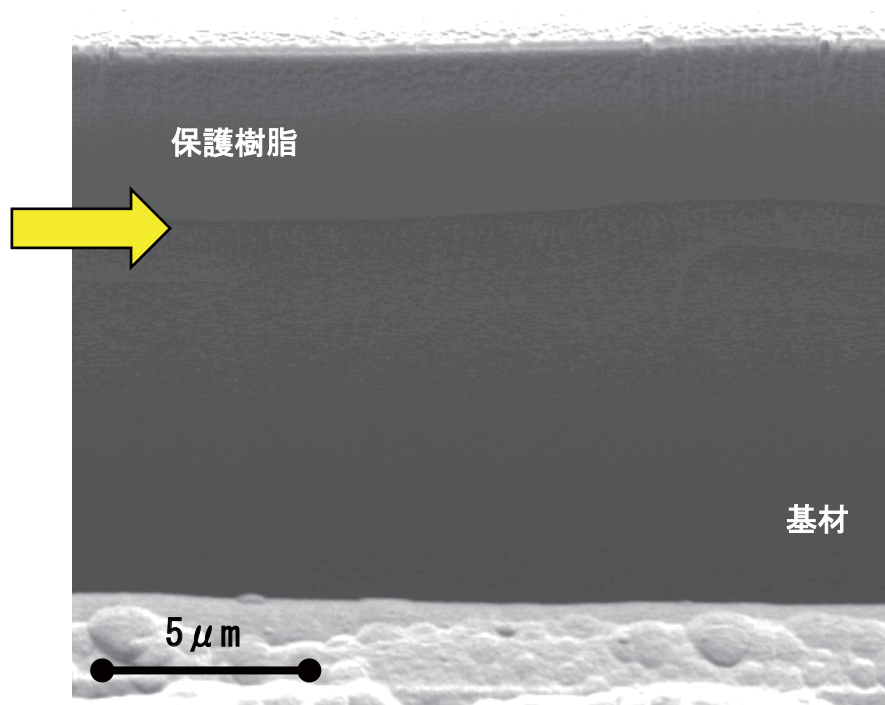
撮影倍率 × 1,000

45° 傾斜

(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

広域FIB-SIM観察結果 A(2) 断面X-Y 拡大⑤、⑥

基材の目立った損傷は見られないが、変形があるように見える。
⑤ 反射膜は残っていない。 ⑥



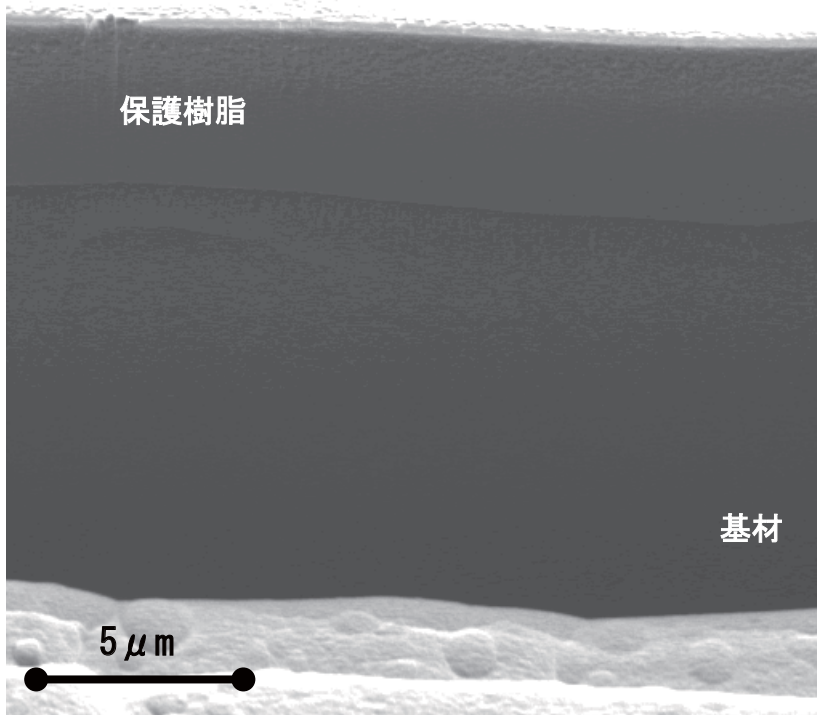
撮影倍率 $\times 10,000$

45° 傾斜

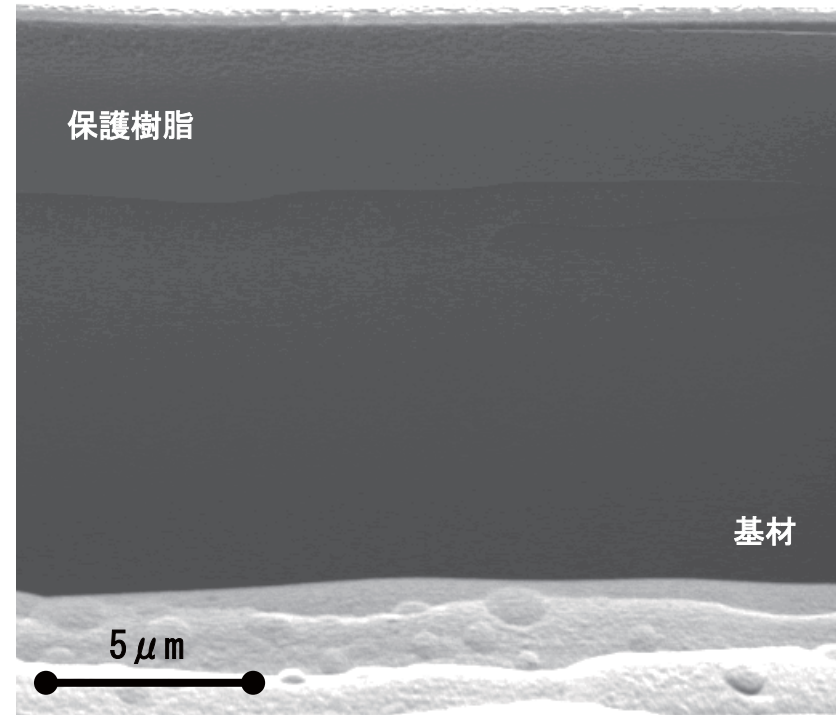
(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

広域FIB-SIM観察結果 A(2) 断面X-Y 拡大⑦、⑧

⑦



⑧



撮影倍率 × 10,000

45° 傾斜

(スケールバーは目安：画面横方向のみに適用)

X線イメージング技術開発環境の改善 LUCXのX線エネルギーを上げる

検討事項

X線エネルギーが低いため、イメージング技術開発が非効率：(LUCX) 9~10 keV、(cERL) 7 keV

- 透過率から試験サンプルが限定される
- 位相イメージングでもX線格子基盤での透過性が影響

電子ビームエネルギー増強

cERL：超伝導空洞の追加。予算・時間共に合わない

LUCX：常伝導定在波加速管を1台追加

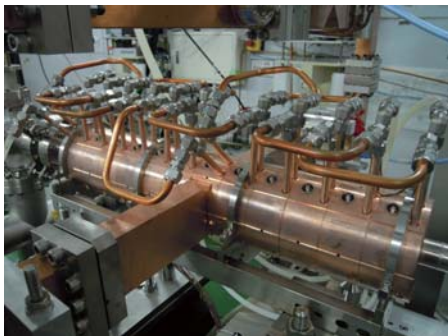
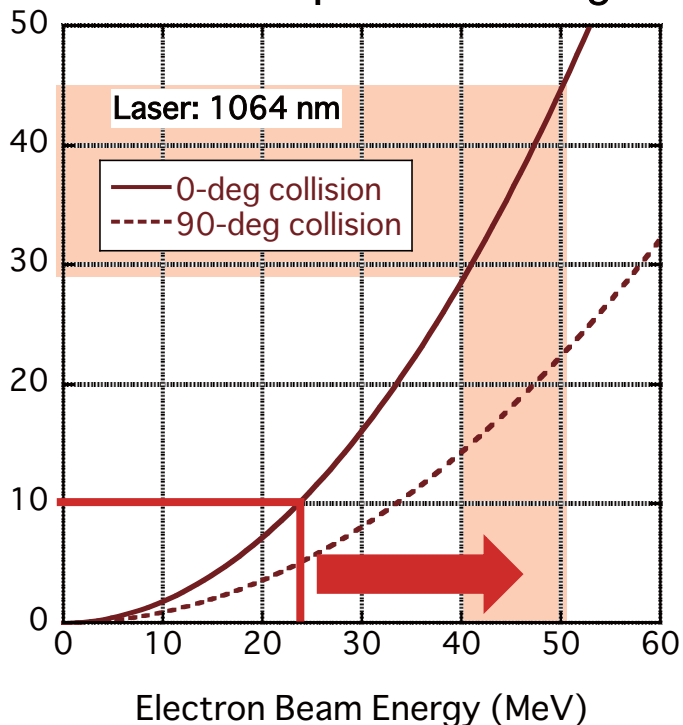
電子ビーム 24 MeV → 40~50 MeV

現在LUCXで使用しているものと同型。KEKで製造。

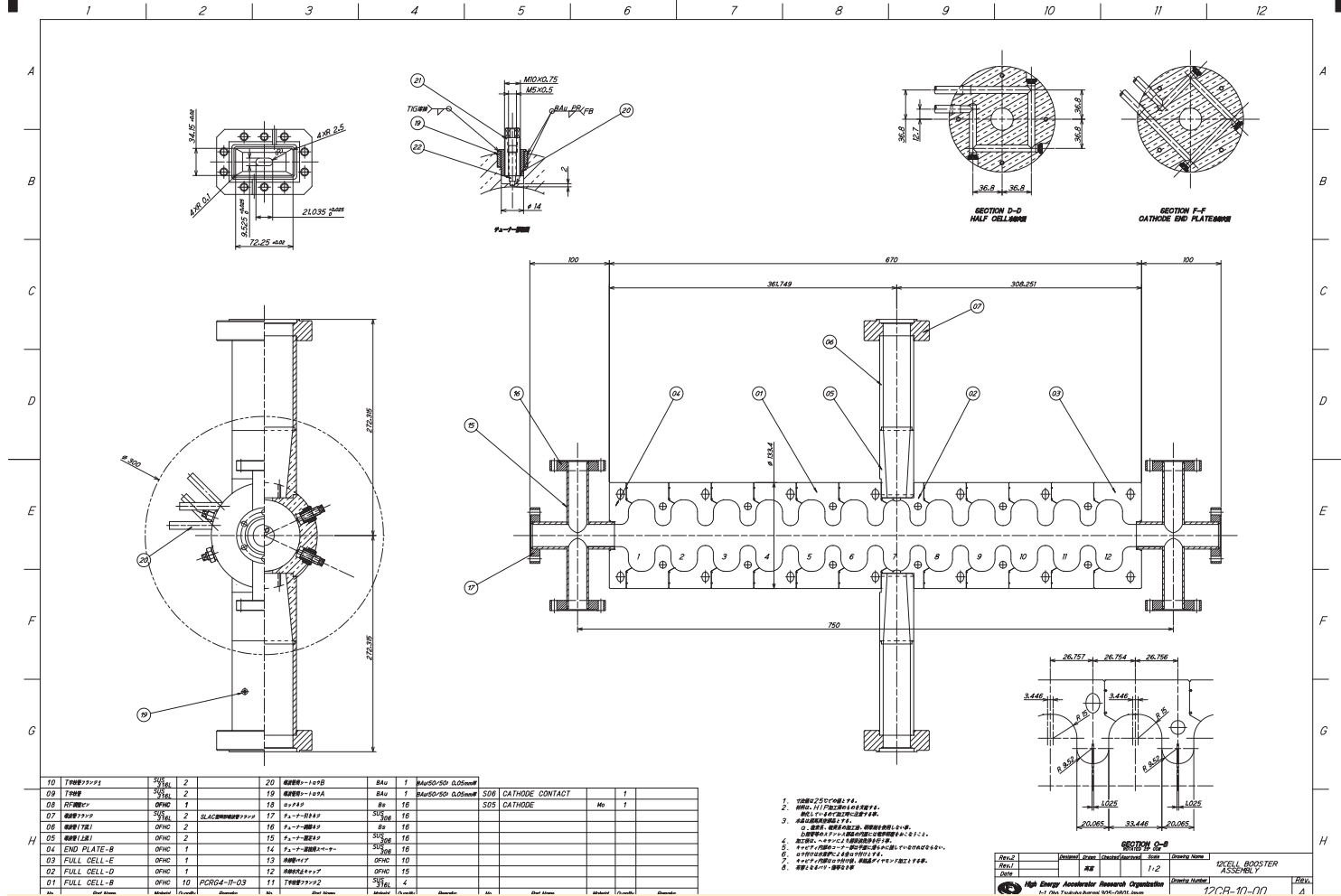
利点

- 発光範囲1/ γ での改善→4倍の収率向上
- 位相イメージング技術開発の効率化
- AIST試験用に製作したX線格子(30keV)が使える
- 幅広いLCS-X線利用のデモンストレーション
- **H28年秋**に設置~**本プログラム**終了まで
1年以上使用可能、基盤技術開発に大きく役立つ

Laser Compton Scattering



12 cell Booster追加スケジュール



今年度～3月： 素材調達（無酸素銅）
 H28.4月～8月： 空洞加工・ろう付け、高周波部品調達
 H28.9月～10月： インストール、コミッショニング