

硬X線望遠鏡に用いる 多層膜スーパーミラーの反射率評価

名古屋大学理学研究科素粒子物理学専攻
宇宙物理学X線グループ
修士課程1年生 宮本 庸平

我々の研究室では次期X線天文衛星ASTRO-H衛星に用いる
硬X線望遠鏡(HXT)の開発を行っている。

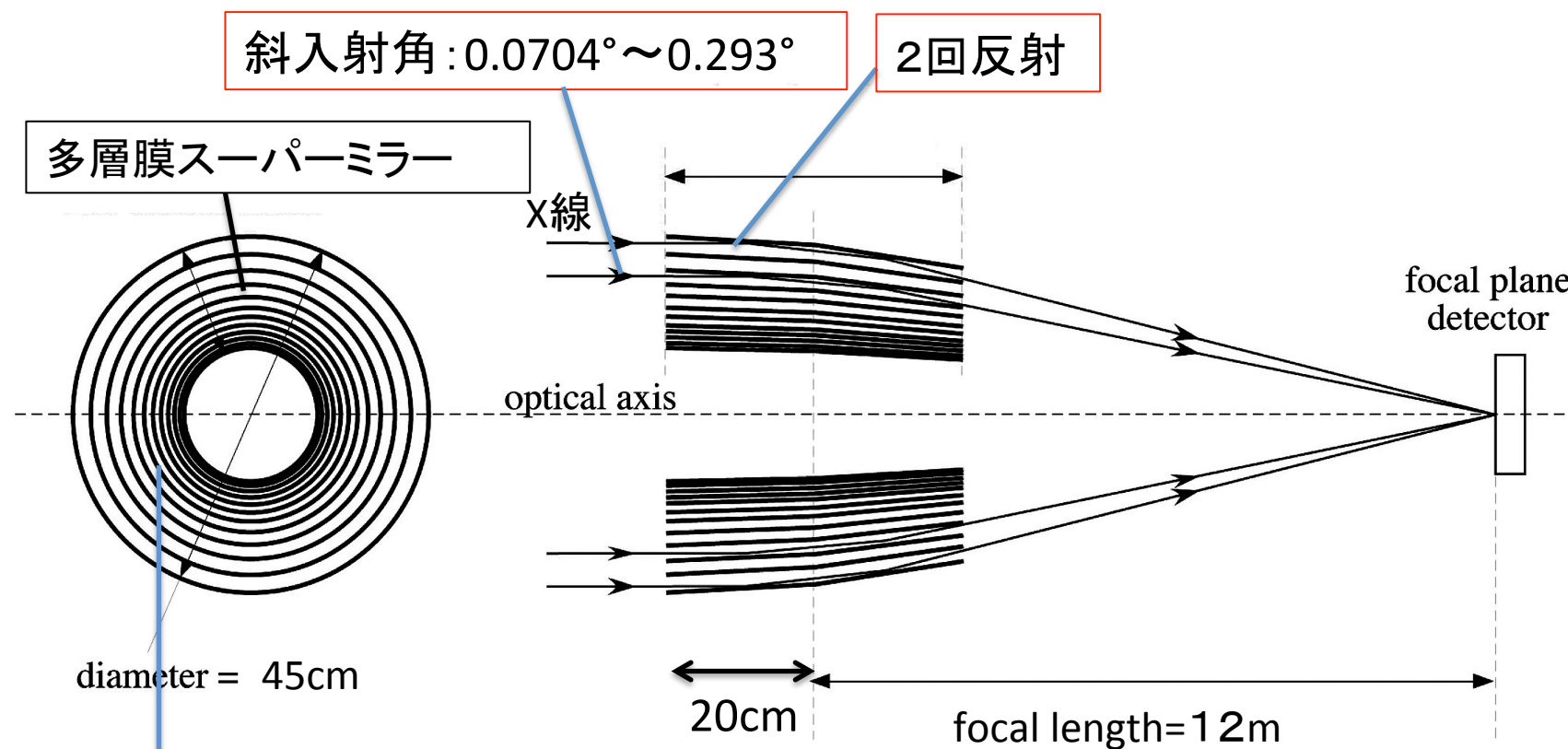


2014年に打ち上げ予定
5keV~80keVの高エネルギー領域での集光撮像観測を実現できる



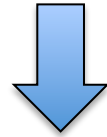
活動銀河中心核や超新星残骸などの非熱的な現象の解明が期待
される

Wolter I 型の多重薄板型X線望遠鏡の構造

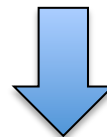


同心円上に非常に多くのスーパーミラーを並べることで有効面積を大きくしている。基板を薄くすることで、開口効率を高くしている。

- X線はエネルギーが高く(0.1keV~100keV)透過率が非常に高い



反射させるためには非常に小さな斜入射角でX線を入射させなければならず、与えられた入射角条件において単層膜反射鏡では、80keVまでのX線は反射できない



多層膜反射鏡を用いることでブラッグ反射を利用して高い反射率を実現できる

Pt/C多層膜反射鏡と多層膜スーパーミラー

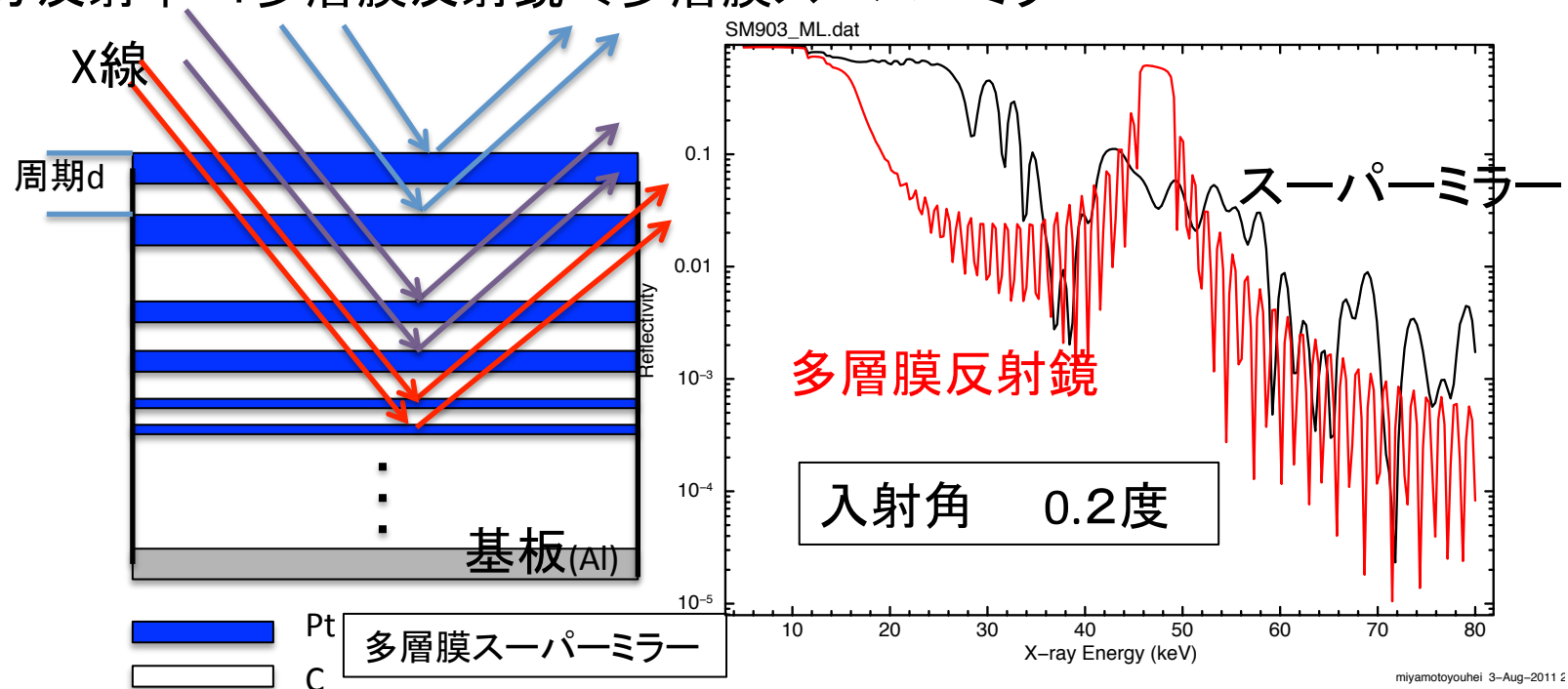
- 多層膜反射鏡

ブラッグ反射を利用してX線を反射させるために人工的な周期構造を持たせた光学素子(周期長は一定)

- 多層膜スーパーミラー

周期長が一定の多層膜反射鏡に対して、深さ方向に周期長を変化させた光学素子。広いエネルギー領域でX線の反射率を得ることができる

→ 積分反射率 : 多層膜反射鏡 < 多層膜スーパーミラー



多層膜スーパーミラーの反射率

- 多層膜の反射率を表す式

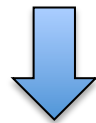
Debye-Waller Factor

$$R = R_0 \exp\left(-\left(\frac{2\pi\sigma m}{d}\right)^2\right)$$

と表せる。ここでの R_0 は理想的な表面粗さでの反射率。

この式より、反射率は界面の粗さ σ により指数関数的に減少
つまり、反射率は界面粗さに大きく影響される。

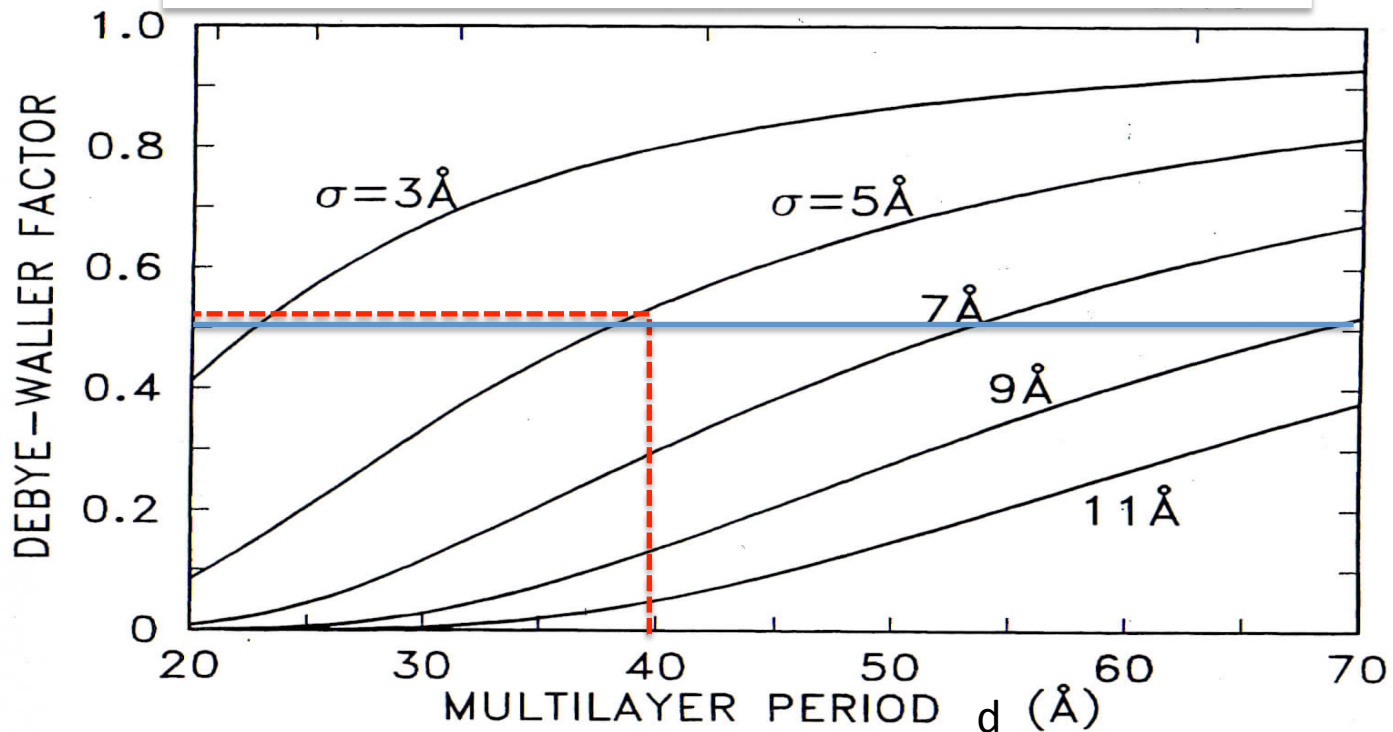
(X線の波長は小さい \rightarrow Åレベルの粗さでも散乱が起こる \rightarrow 反射率低下)



より高性能なスーパーミラーにするためには、界面粗さをできるだけ小さく押さえる必要がある。

各界面の粗さでのDebye-Waller Factor と多層膜周期d の関係

Debye-Waller Factor → 反射率を表す

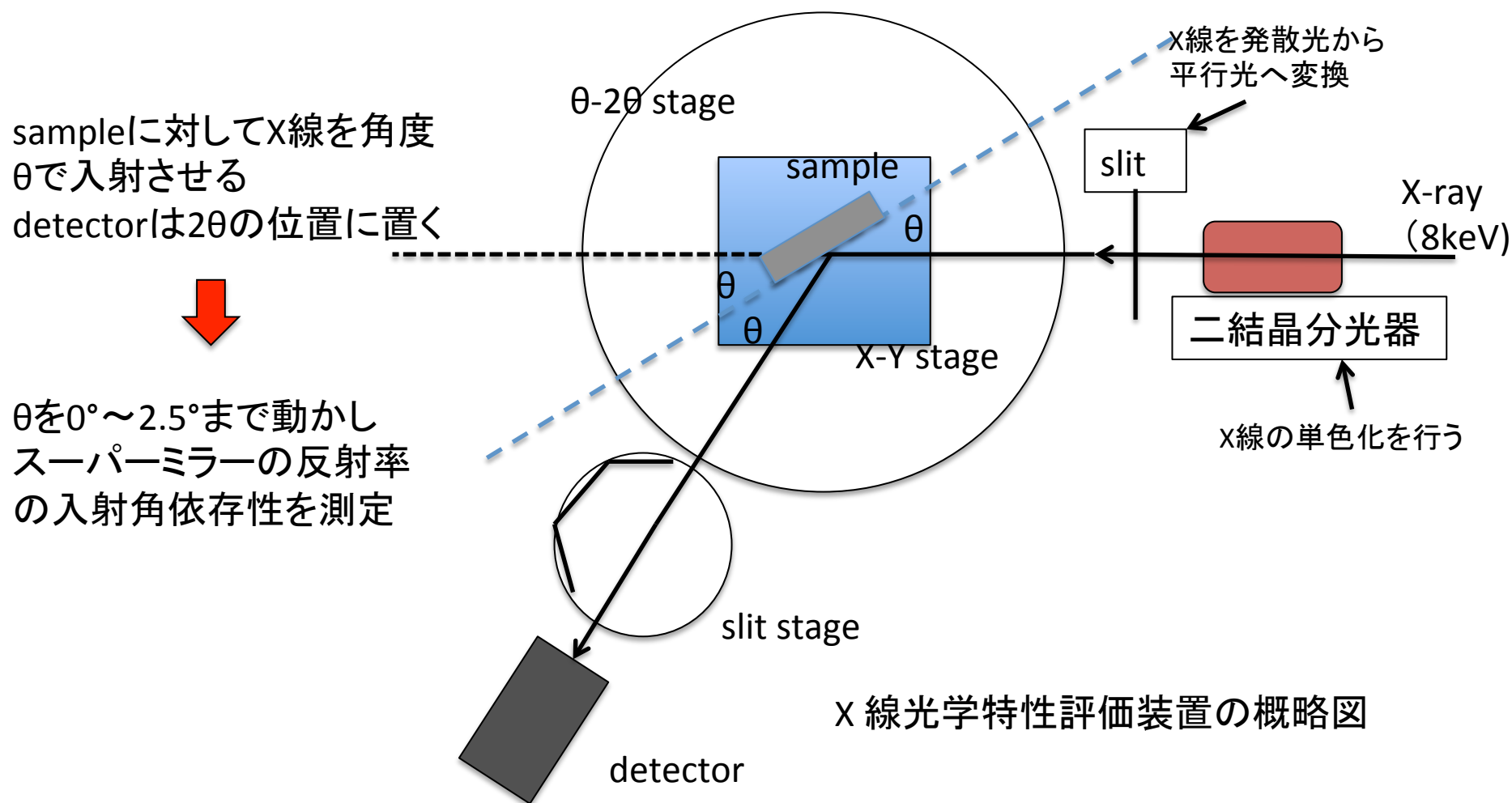


多層膜反射鏡の場合 → 周期 d は40Å一定

スーパーミラーの場合 → 周期 d は深さ方向に変化

入射角度 θ による反射率の評価

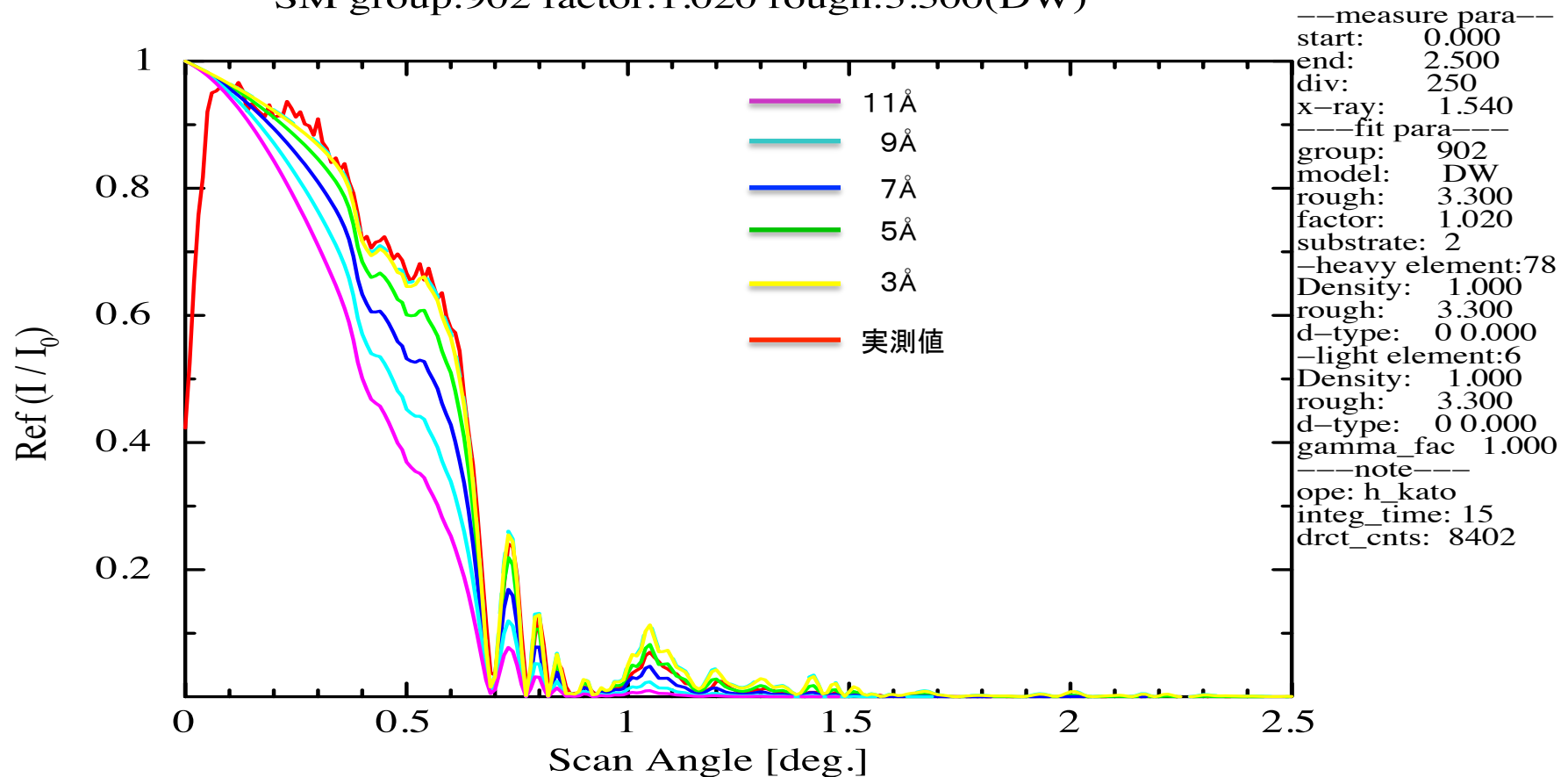
- 成膜されたPt/C多層膜スーパーミラーが設計通りに出来ているかを実際にX線を照射して、反射率の入射角依存性を測定



それぞれの界面粗さ($\sigma=3\text{\AA}$ 、 5\AA 、 7\AA 、 9\AA 、 11\AA)での 反射率の入射角依存性をプロット(8keV)

sample_ID:A100824a2

SM group:902 factor:1.020 rough:3.300(DW)



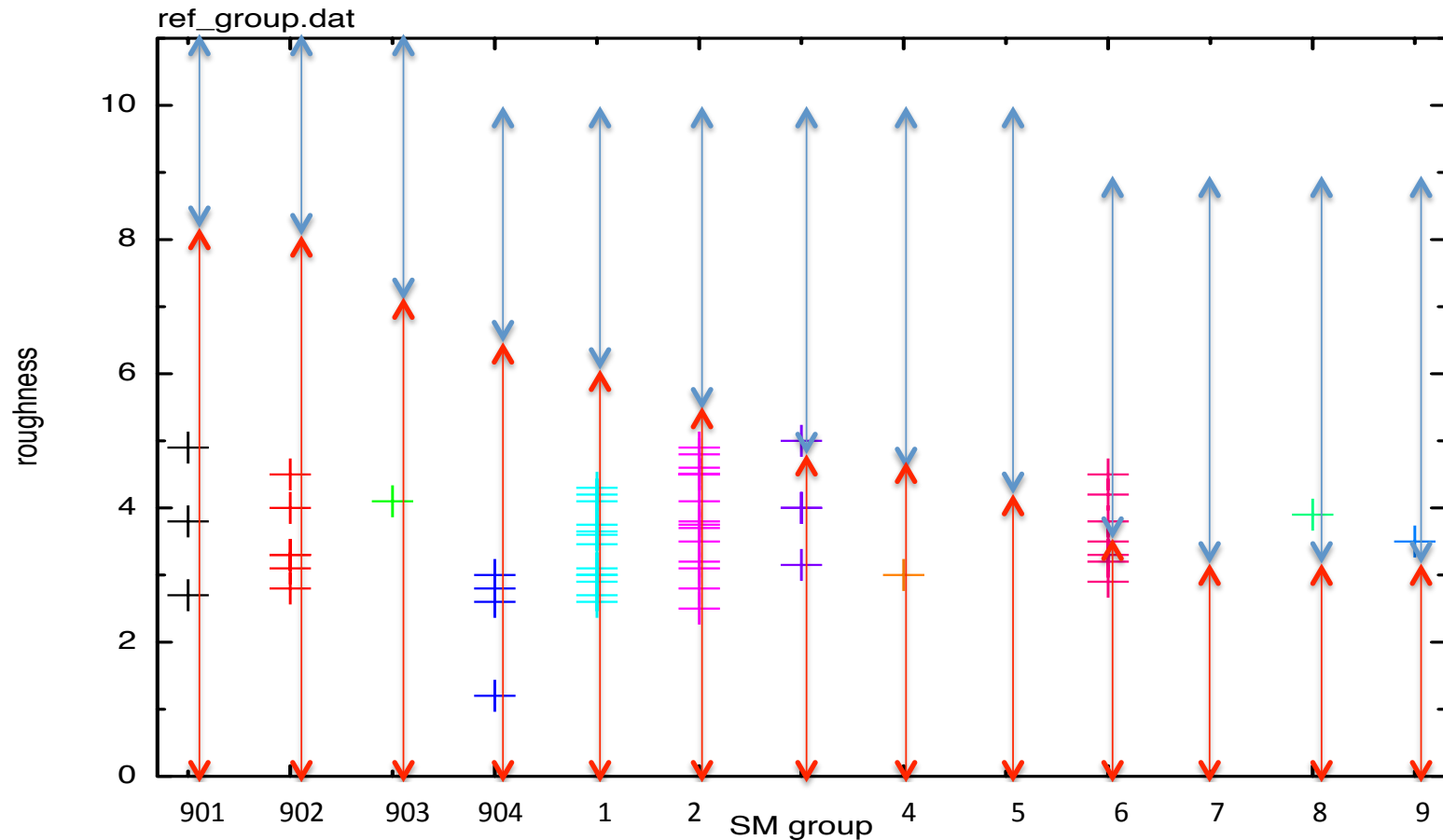
miyamotoyouhei 25-Jul-2011 21:42

測定の結果、このスーパーミラーは 3\AA の理論値(黄色)にほぼ一致



測定したスーパーミラーの界面粗さはおよそ 3\AA

多層膜スーパーミラーのグループごとの界面粗さの分布



miyamotoyouhei 29-Jul-2011 03:01

SM group:硬X線望遠鏡での設置位置(半径方向)によってグループを分けている
(内側から901・904, 1・10)

両矢印(赤) → 反射率50%となる σ の範囲

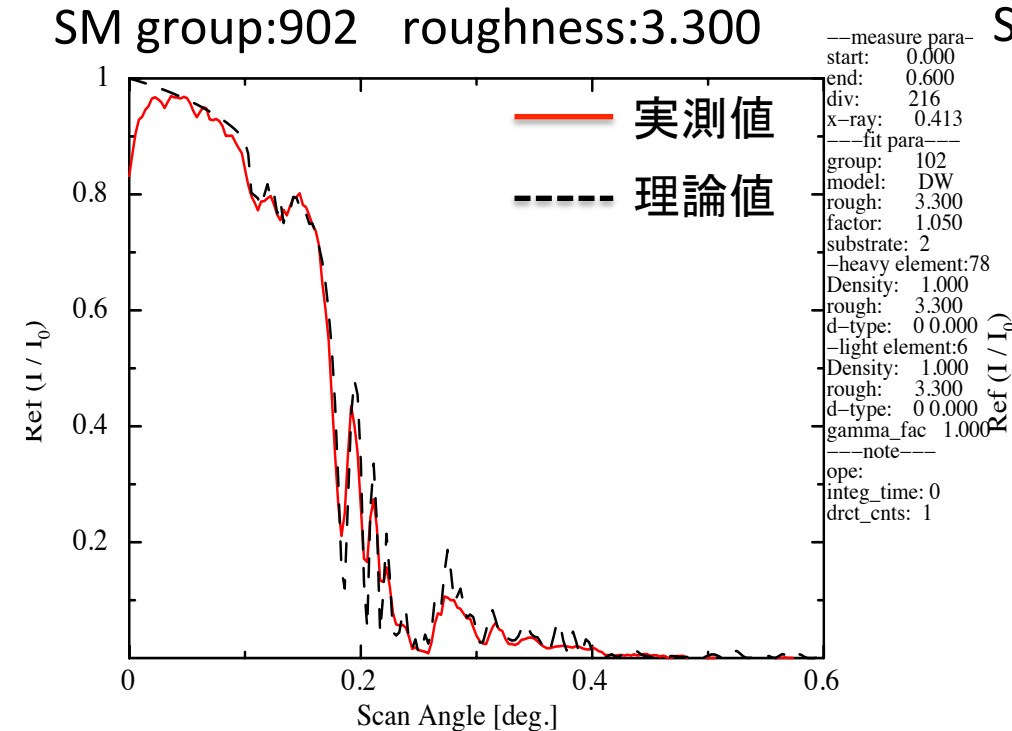
両矢印(青) → 反射率50%より大きくなる σ の範囲

+ のデータ → 反射率測定で得られたグループごとの界面粗さ

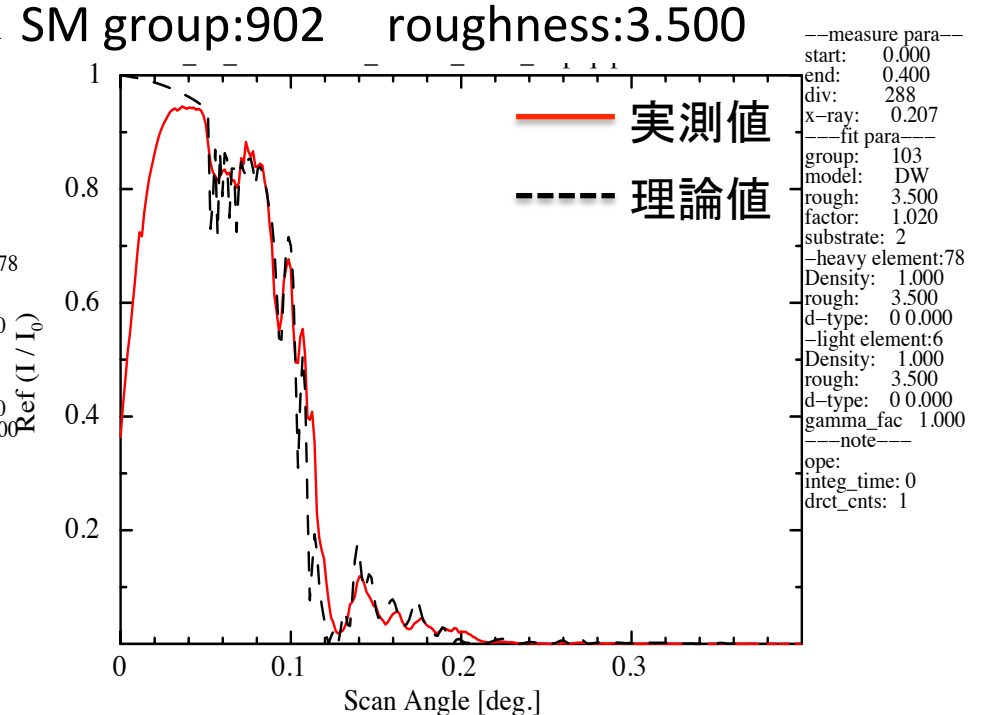
測定の結果 → 測定した全スーパーミラーにおいて反射率50%以上を達成

高輝度放射光施設SPring-8での 反射率の入射角依存性の測定(30keV、60keV)

(30keV)



(60keV)



miyamotouhei 24-Jul-2011 00:47

miyamotouhei 24-Jul-2011 1

より高いエネルギー領域(硬X線領域)における反射率を測定
測定結果(赤)より、計算から推測される反射率カーブ(黒色)を得ることができた

➡ 硬X線エネルギー領域でも高い性能を持つ

まとめ

- 名古屋大学の研究室において多層膜スーパーミラーにエネルギー8keVのX線を照射して入射角での反射率を測定し、スーパーミラーの界面粗さを調べた。

 界面粗さは目標値を達成した

- 高輝度放射光施設SPring-8においてエネルギー30keVと60keVのX線を照射して、入射角での反射率を測定

 硬X線エネルギー領域においても高い性能