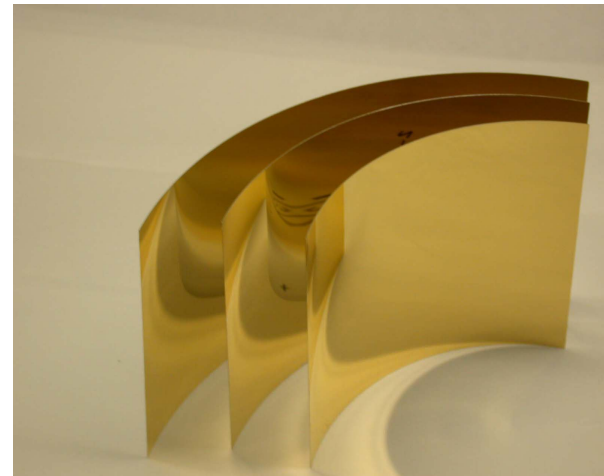


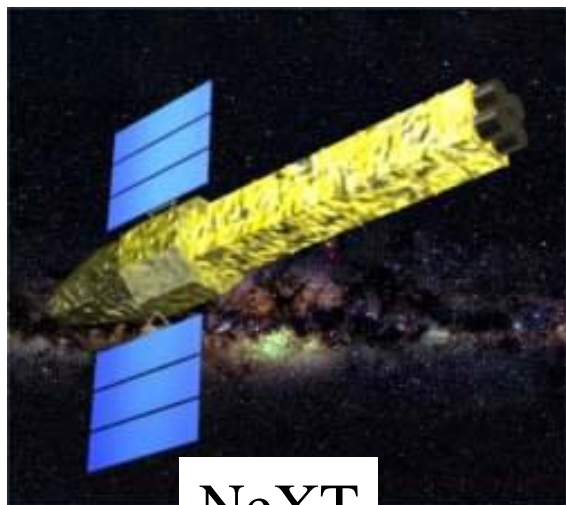
# X線望遠鏡用反射鏡製作のための スパッタマスクの開発



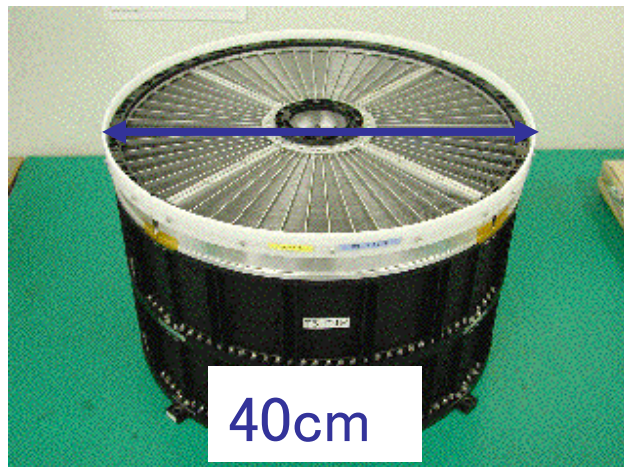
宇宙物理学実験研究室

窪田 廉

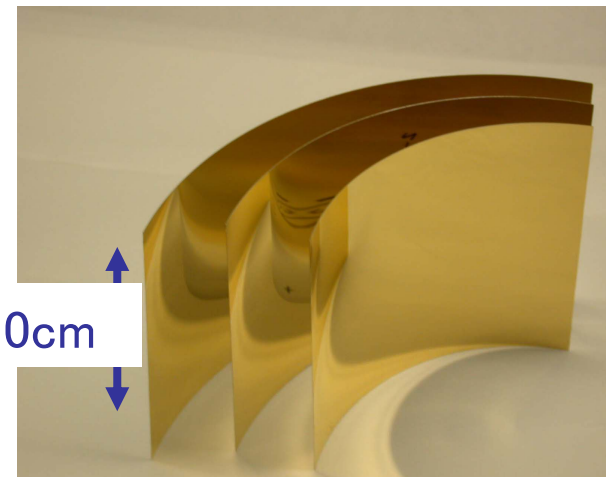
# X線望遠鏡



NeXT

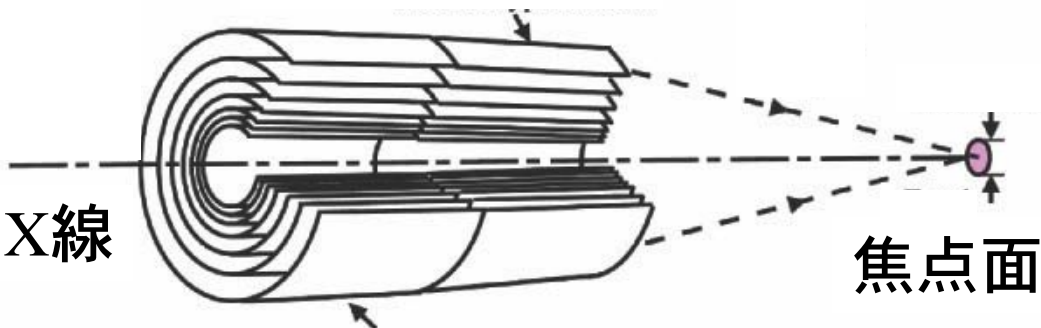


40cm



10cm

## 回転双曲面鏡

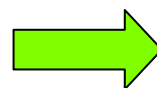


## 回転放物面鏡

斜入射光学系 X線入射角度:  $0.2 \sim 0.6^\circ$

## NeXTの反射鏡

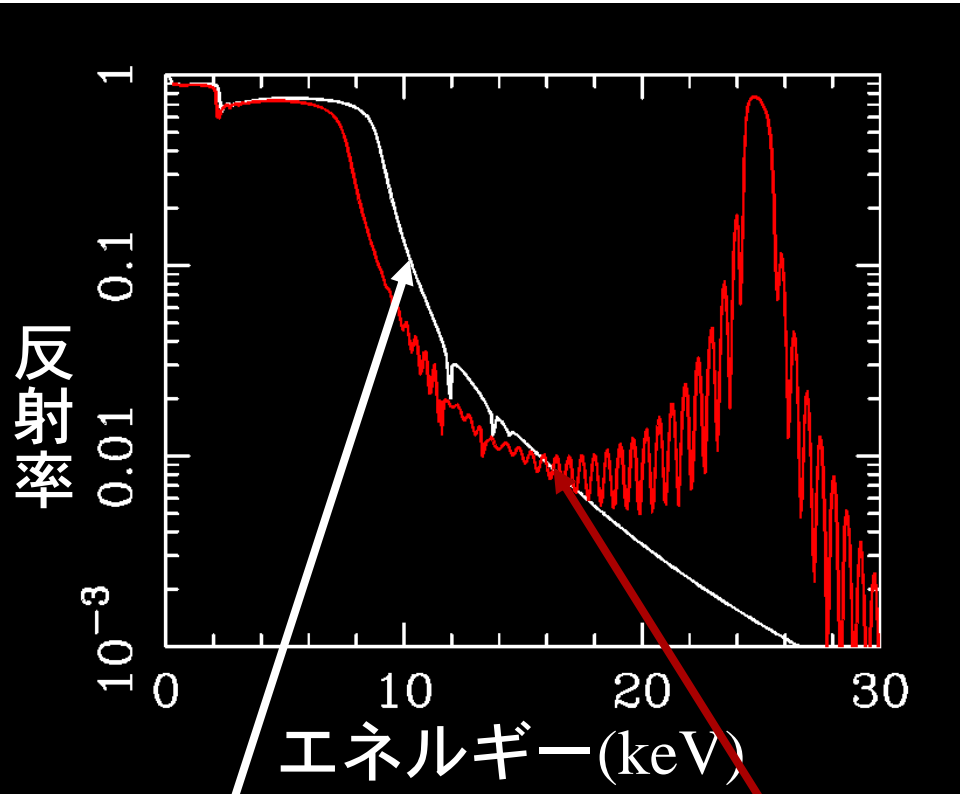
多層膜 ブラッグ反射



10keV以上でも  
高い反射率

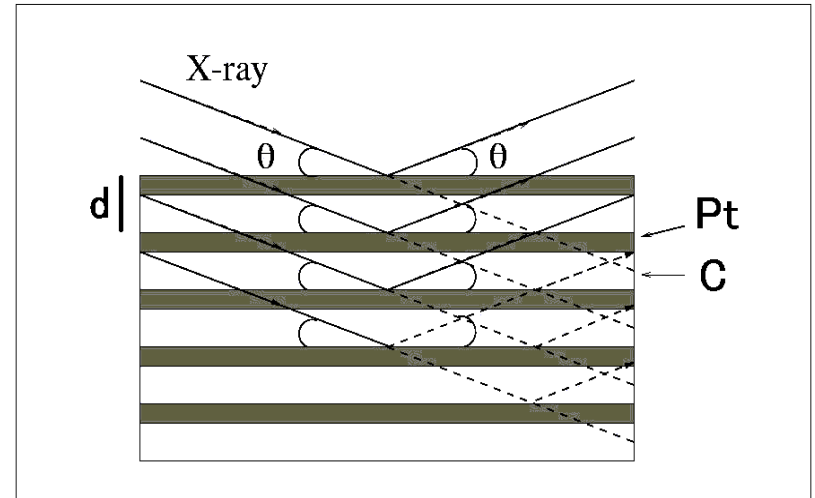
# ブラッグ反射

X線入射角度:  $0.5^\circ$



単層膜

多層膜



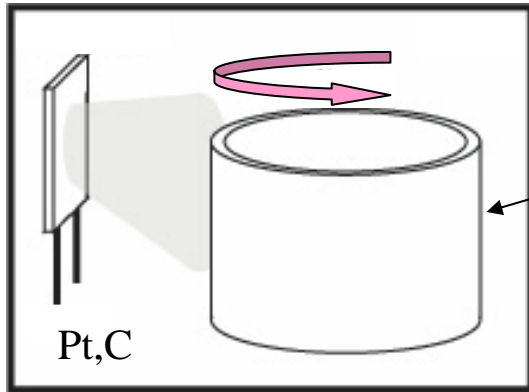
Bragg反射条件

$$2d \sin \theta = m \lambda = m \frac{12.4}{E(\text{keV})} [\text{\AA}]$$

高エネルギー側で  
高い反射率を得られる

# 反射鏡の製作

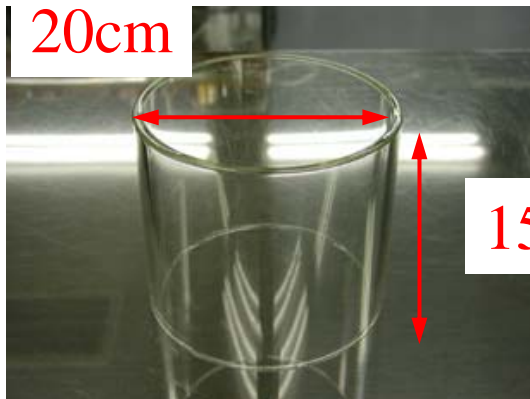
## レプリカ法



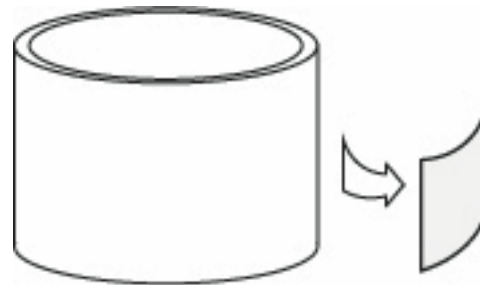
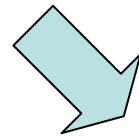
ガラスマンドレル

Pt,C

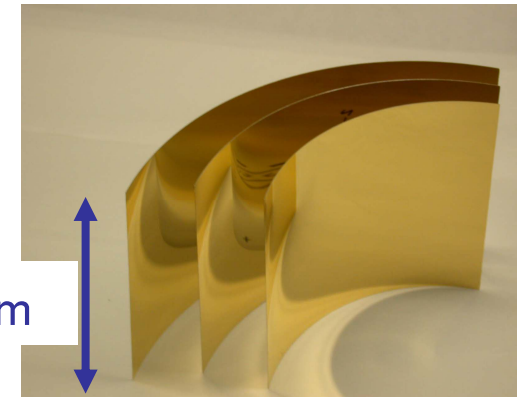
スパッタ



ガラスマンドレル



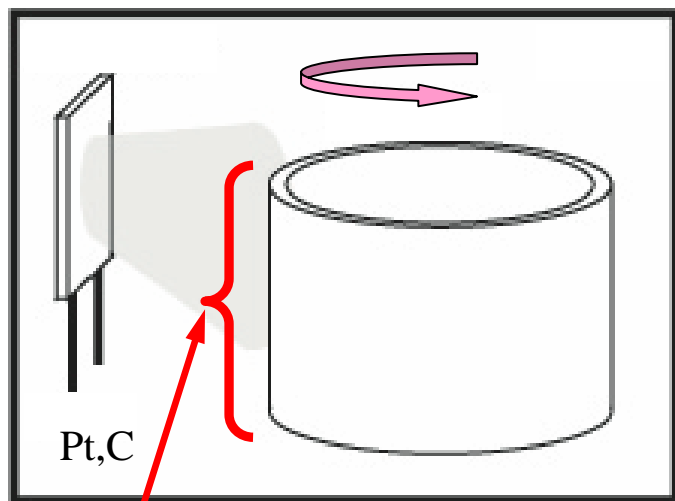
剥離



ミラー完成

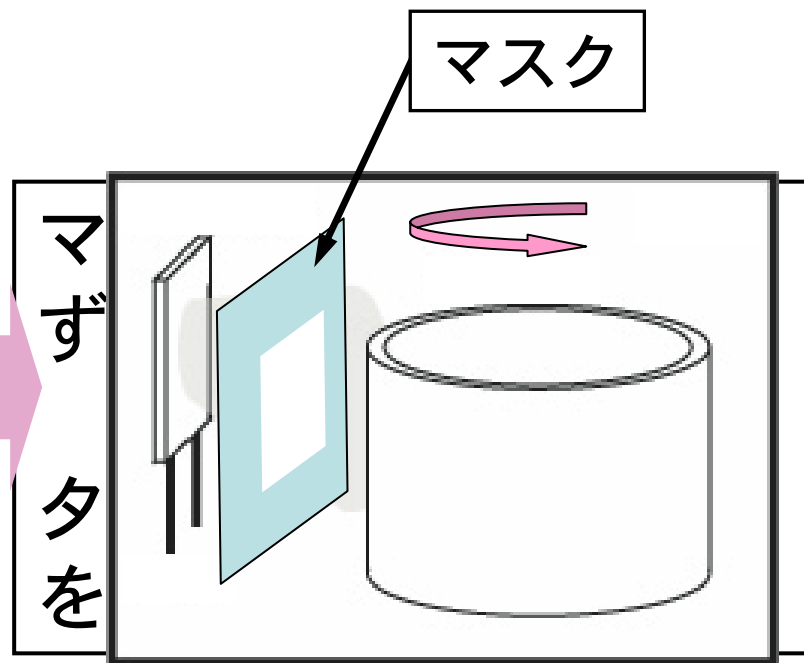
# 膜厚分布の測定

## 問題点



高さ方向に10%以上の膜厚のムラが生ずる

高さ方向のムラを5%以下に抑える



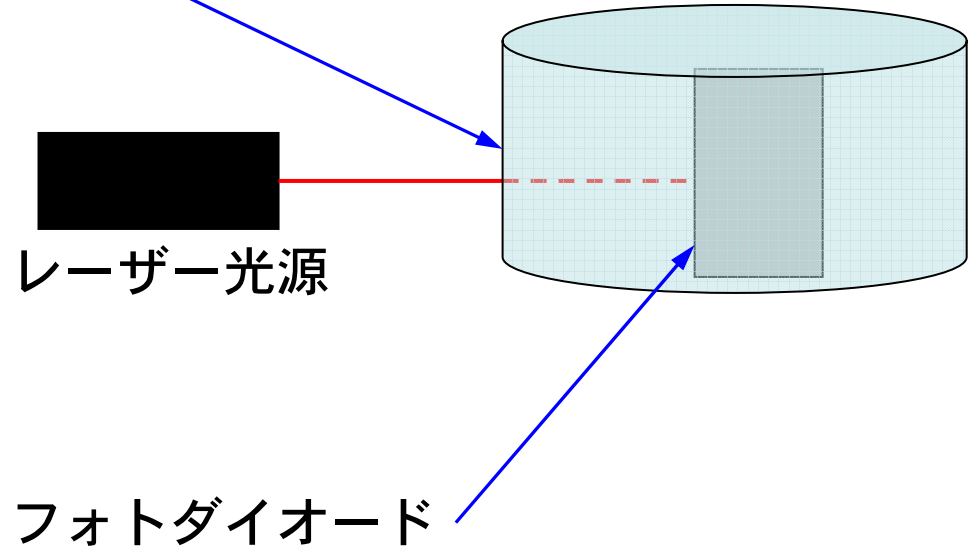
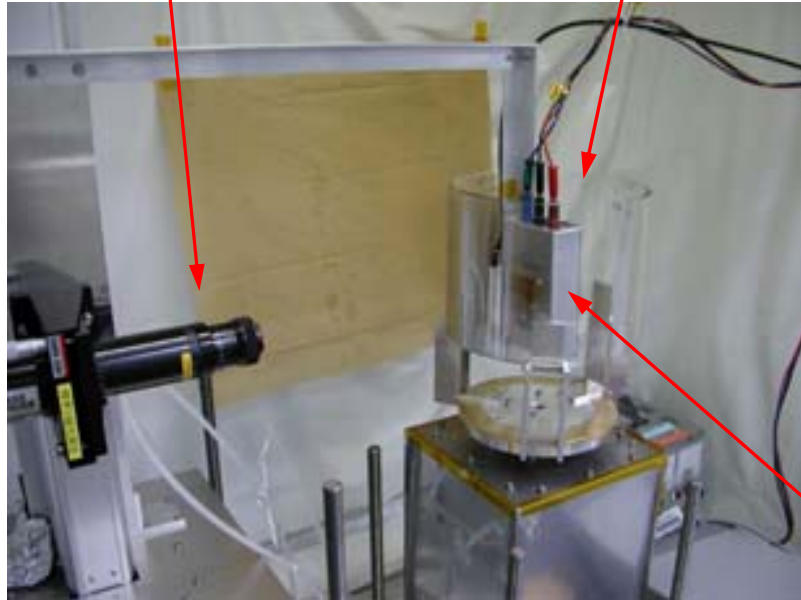
マスクで飛散を調整

膜厚の均一化  
理想的なブラッグ反射を得る

# 膜厚の分布の測定

レーザー光源

ガラスマンドレル



- レーザーの透過強度により膜厚を測定

$$I = I_0 \exp(-\alpha d)$$

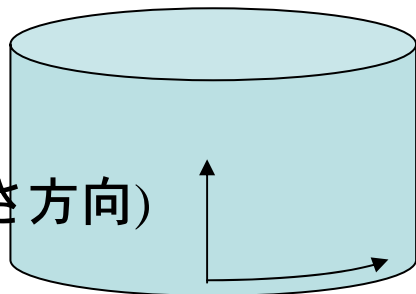
$I$  透過光(V)

$I_0$  ダイレクト(V)

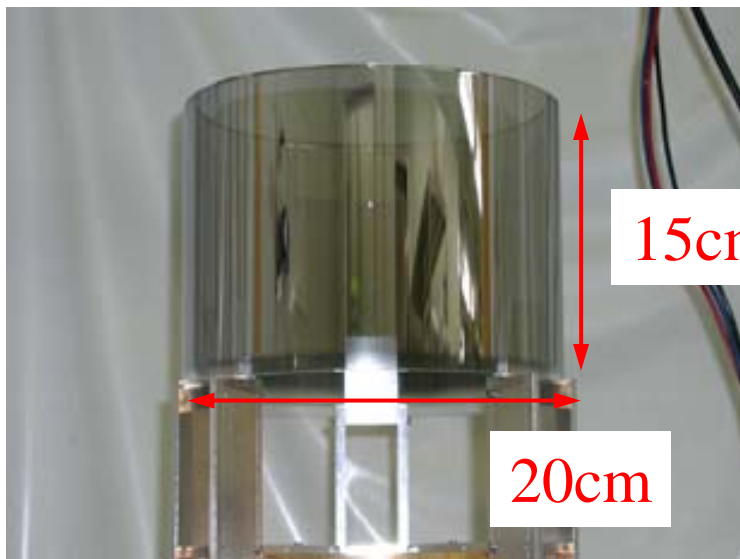
吸収係数

$d$  膜厚(Å)

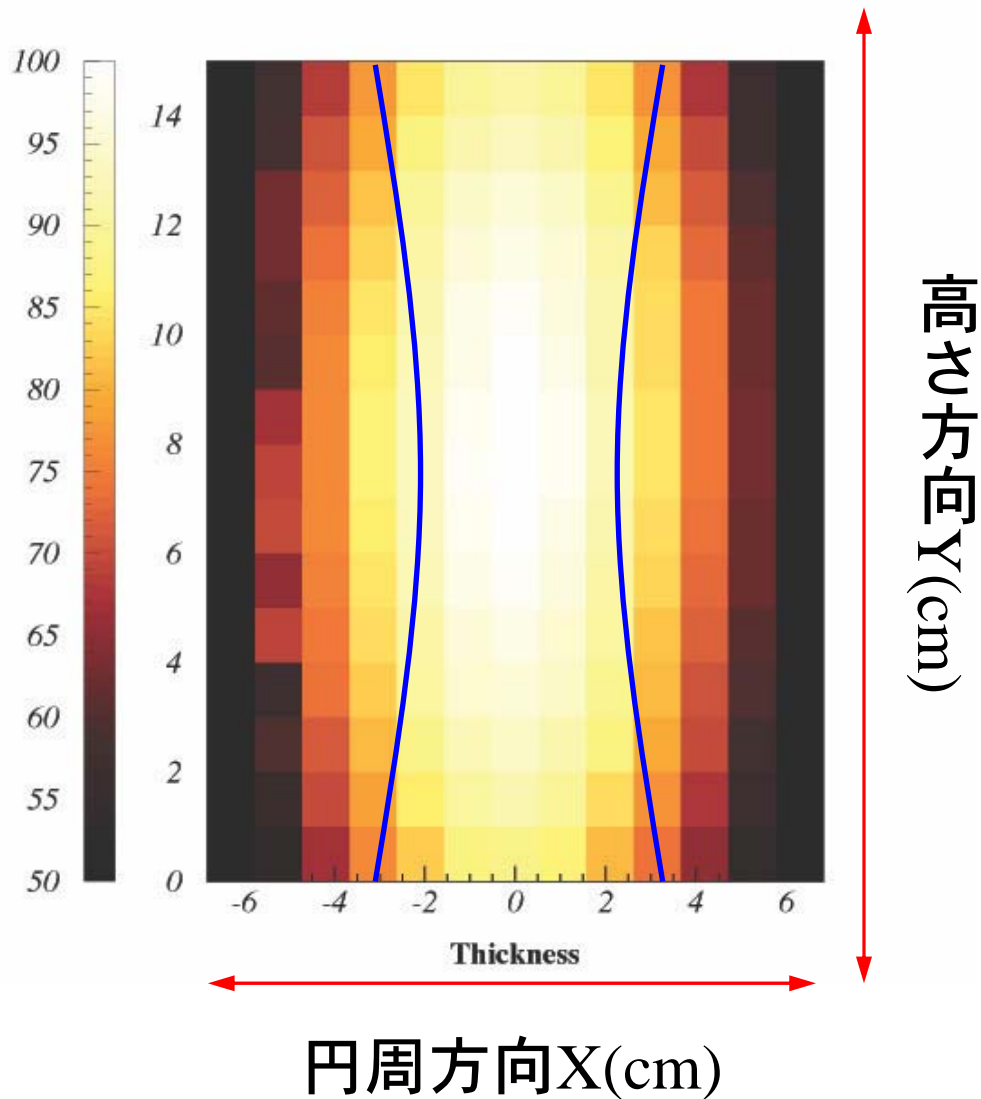
# 膜厚の分布



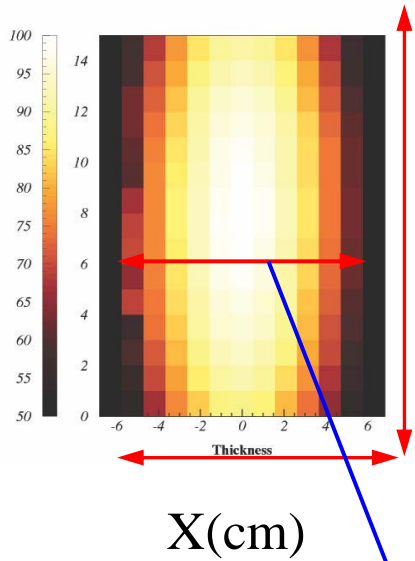
X軸(円周方向)



スパッタしたマンドレル



# マスクの設計



Y(cm)

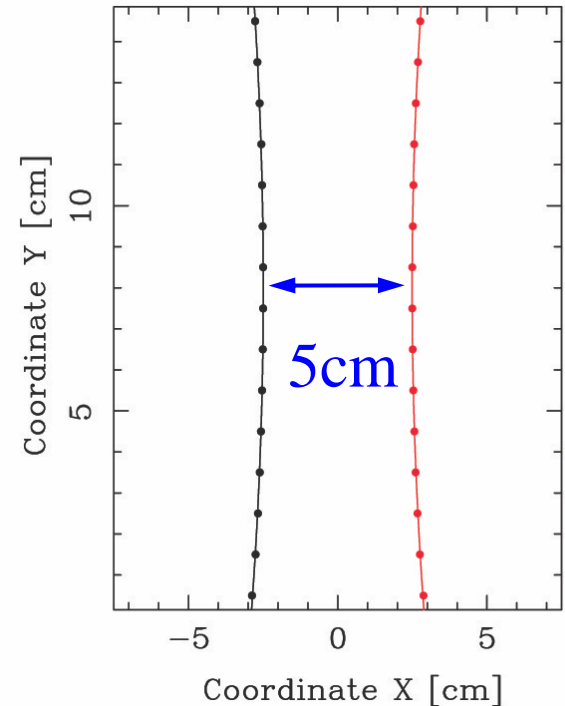
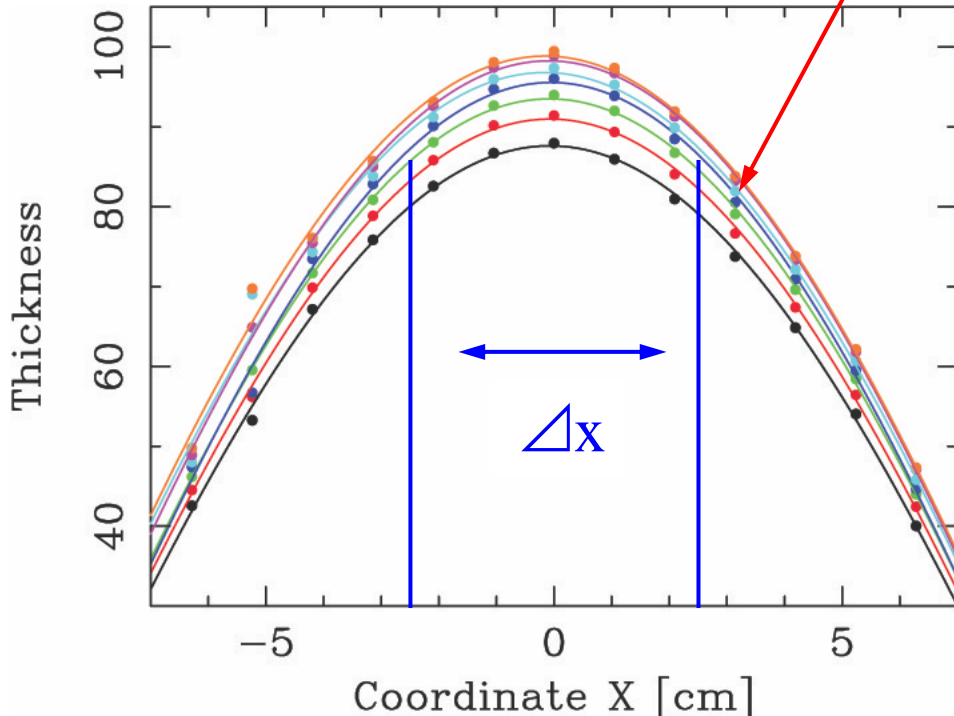
Y軸(高さ方向)

X軸(円周方向)

$f_y(x)$

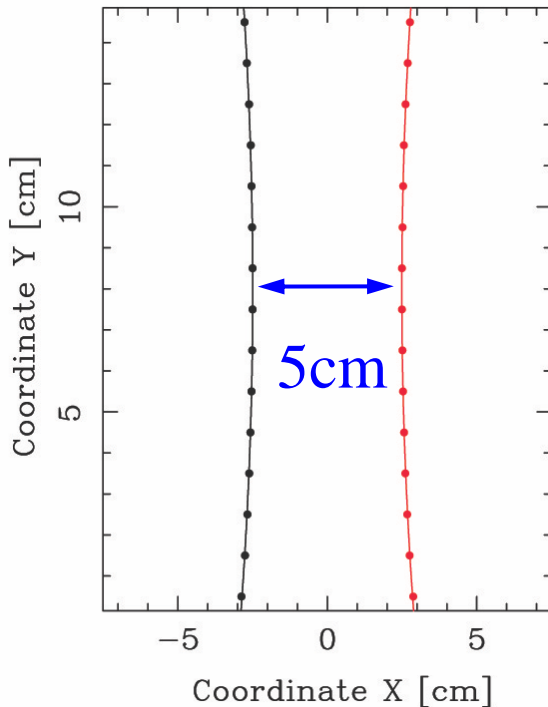
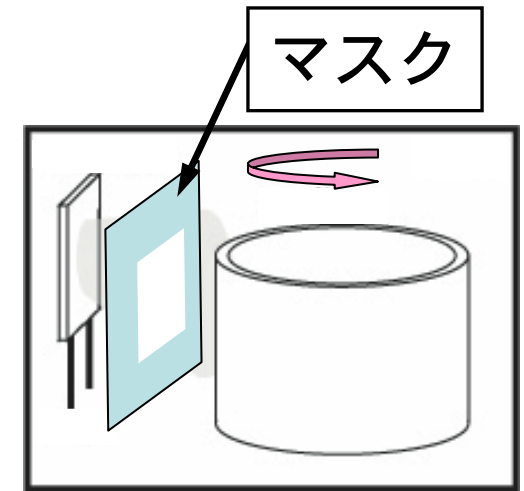
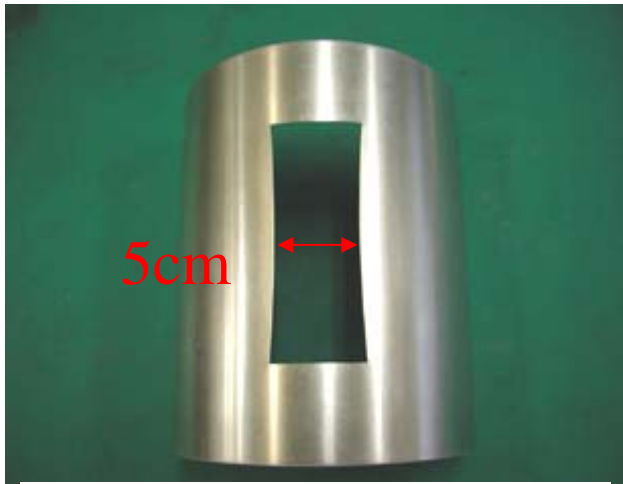
それぞれの高さ  $y$  で積分値が等しくなるような積分範囲  $\Delta x$  を決める

$$\int_{-\frac{\Delta x}{2}}^{\frac{\Delta x}{2}} f_y(x) dx = g_{y=8.5}$$





# マスクの製作

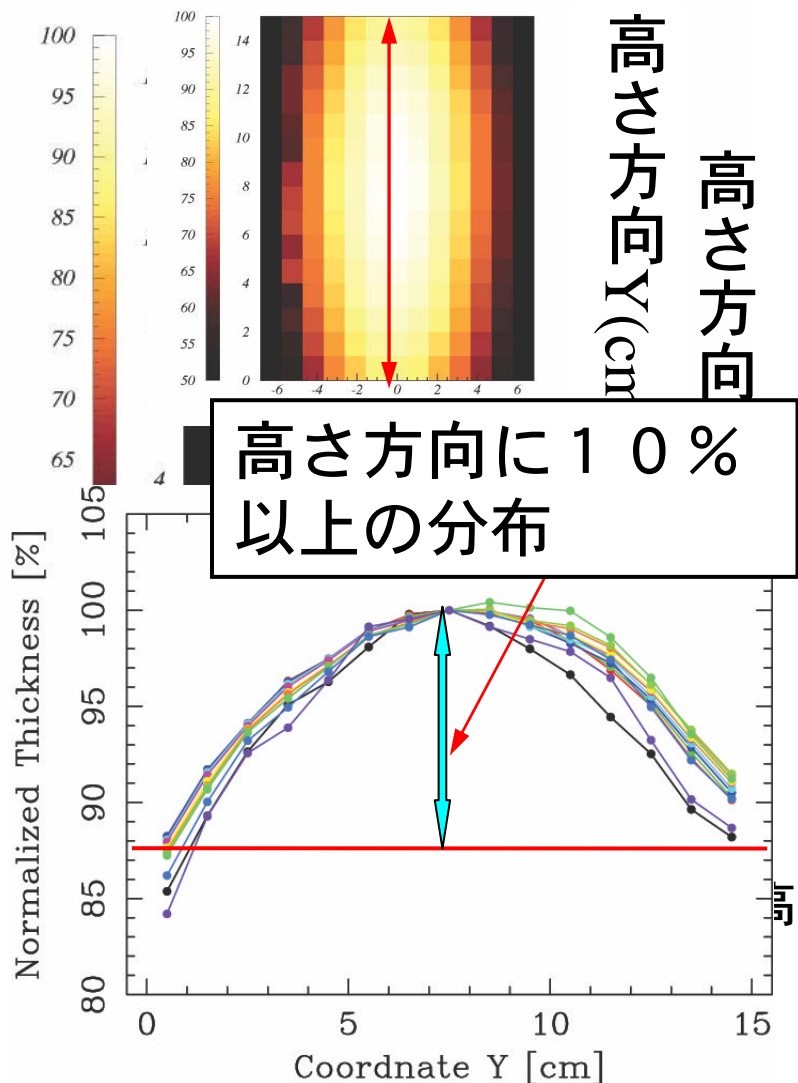


- マスクをつけてスパッタ
- マンドレルを回転させる

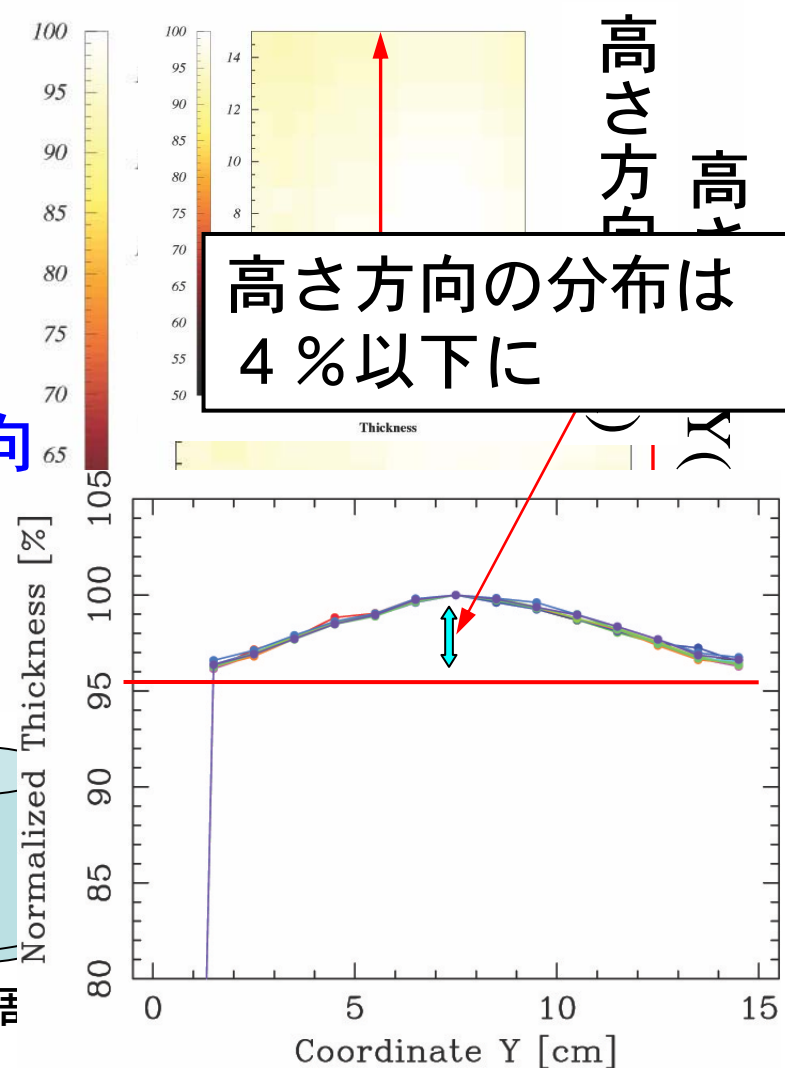
# マスクを使った膜厚分布

マスクなし

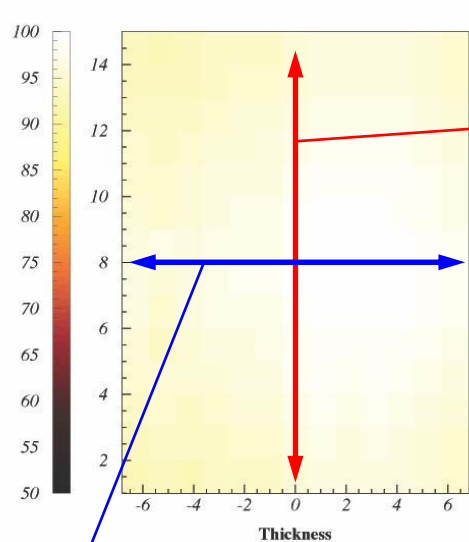
マスクあり



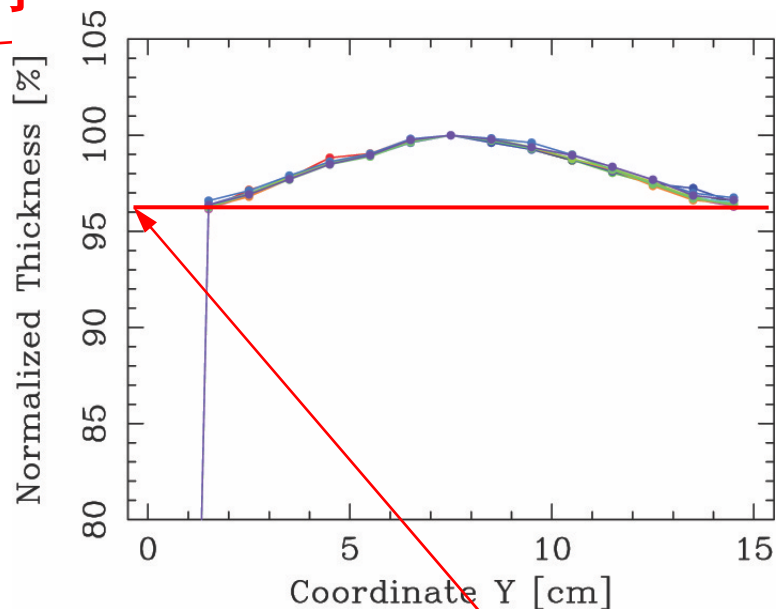
高さ方向



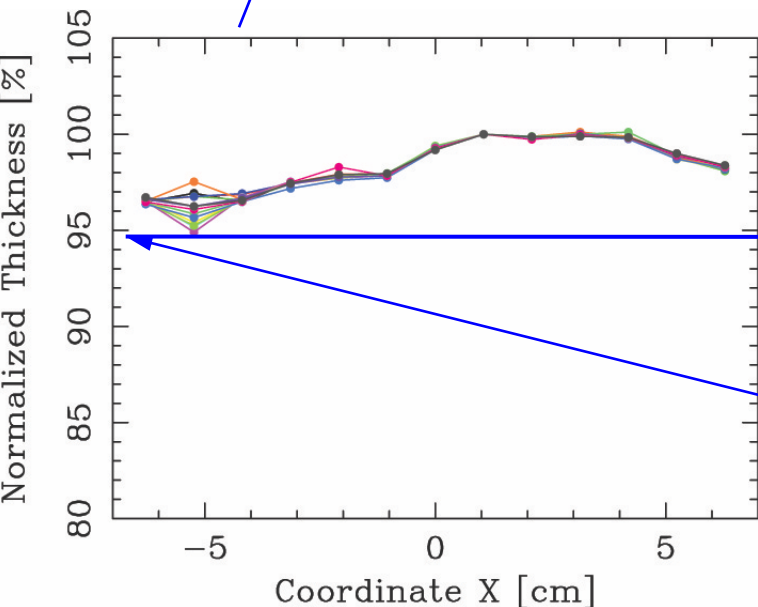
# マスクを使った膜厚分布



高さ方向



高さ方向の分布は  
4%以下に



円周方向

円周方向に5%程度の分布

# まとめ

- 高さ方向には膜厚分布を10%程度から4%程度に抑える事ができた
- 円周方向に膜厚分布が生じている

## 原因

- マスクとマンドレルの間の間隔
- マンドレルの回転軸のずれ

## 課題

- マンドレルーマスク間隔をつめる
- マンドレル回転の中心軸を合わせる