

○池田翔馬, 河合耕平, 幸村孝由, 渡辺辰雄, 牛山薫, 金子健太(工学院大学), 北本俊二, 村上弘志(立教大学), 常深博, 林田清, 穴吹直久, 中嶋大, 上田周太郎(大阪大学), 鶴剛(京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 松田圭子(ISAS/JAXA), 平賀純子(東京大学), 森浩二(宮崎大学)



1.概要

現在軌道上で観測を続けているX線天文衛星すざくのXIS(X-ray Imaging Spectrometer)は、CCD素子の前面に可視光・紫外線を遮断する薄膜(OBF: Optical Blocking Filter)を装備している。OBFはアルミニウムとポリイミドからなる厚さ~2500Åの薄膜で、アルミニウムで可視光を、ポリイミドで紫外線を遮断している。このOBFは薄膜であるため、地上での取り扱いが難しく、打ち上げ時の振動で破れる危険性がある。我々はOBFに代わり、直接CCD素子に可視光・紫外線遮断膜(OBL: Optical Blocking Layer)をコーティングしたX線CCDの開発を進めている。尚、OBLについてもOBFと同様に、アルミニウム/ポリイミド/アルミニウムの3層構造である。我々はOBLの実用化に向け、OBLの性能評価として可視光透過率を測定した。また、高エネルギー加速器研究機構放射光施設(KEK-PF)で紫外線の測定を行った。さらに、他のCCDと同等のX線検出能力があるか見極めるためX線による性能評価を行った。OBLの開発の現状として、OBLの紫外線透過率ならびに可視光透過率、X線による性能評価について報告する。

2.OBL

現在開発中の可視光・紫外線遮断膜(OBL)は、**アルミニウム/ポリイミド/アルミニウムの3層構造**である。素材及び3層構造の特徴は、現在すざく衛星に用いられているOBFと同じであり、アルミニウムで可視光、ポリイミドで紫外線を遮断する。

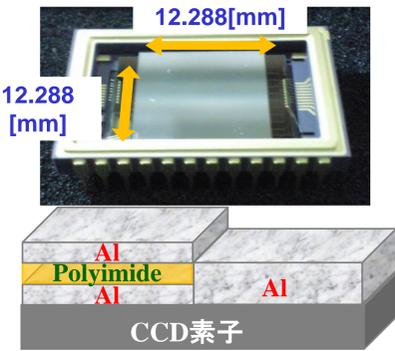


図1. OBLをコートしたX線CCDの写真(上)と、立体図(下)。素子半面はAl/Polyimide/Alの3層構造のOBLをコートした。残りの半面はAlのみをコートしている。各層の厚みを表1に示す。CCD素子は
ピクセルフォーマット: 512 (H) × 512 (V)
ピクセルサイズ: 24µ m × 24µ m
裏面照射型を用いている。

表1. OBLの膜厚設計値 ポリイミドの厚みが1100Å, 2350Å, 2950Åと3パターンのX線CCDを使用した。アルミニウムの厚さは、3パターンとも同じ1400Å(1層目と3層目の合計値)の3タイプである。

| CCD素子ID | AL 1層目厚み | Polyimide 2層目厚み | AL 3層目厚み |
|-------------|-------------|--------------------|-------------|
| Pch18 03-07 | 1000Å | 1100Å | 400Å |
| Pch18 05-21 | 1000Å | 2350Å | 400Å |
| Pch18 13-13 | 1000Å | 2950Å | 400Å |

3.可視光透過率測定

OBLをコートしたCCD(3種類)とOBLをコートしていないCCDに500-900nm(2.48eV-1.38eV)の可視光を照射し、可視光の強度比から透過率を算出した。実験装置ならびに可視光透過率を以下に示す。

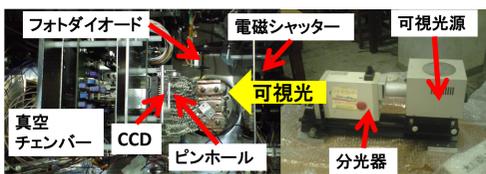


図2. 実験装置の写真。真空槽内に設置したCCDに500~900nmの可視光を照射する。フォトダイオードにて可視光の強度をモニターしている。

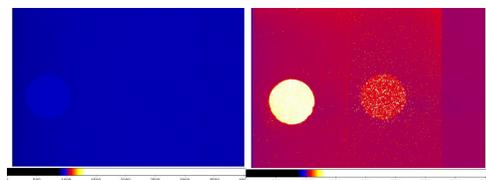
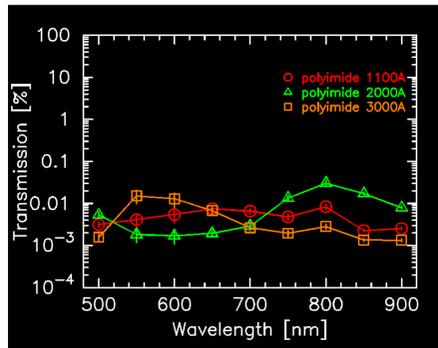


図3. 可視光を照射したイメージ。左図: OBLをコーティングしていないCCD。右図: OBLをコーティングしたCCDのイメージ。左図はフィルターで可視光強度を調節したため暗くなっている。

~可視光の透過率測定結果と考察~

図4. ポリイミド厚1100Å, ポリイミド厚2350Å, ポリイミド厚2950Åの可視光透過率測定結果。赤がポリイミド厚1100Å, 緑が2350Å, 橙が2950Å, のOBLの透過率である。アルミニウムの厚みから予想した可視光の透過率よりも2桁以上高い値であった。アルミ表面に生じた微小な厚みのムラが原因と考えている。



4.紫外線透過率測定

OBLをコートしたCCD(3種類)のCCDに対して40-75eVのエネルギー帯域の紫外線を照射し、Al単層面に照射した紫外線とOBLをコートした面に照射した紫外線の強度比から紫外線透過率を算出した。

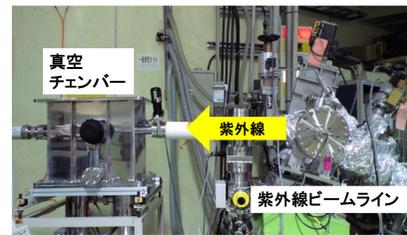


図5. 実験装置の写真。写真右側の紫外線ビームラインは、KEK-PF BL 20Aである。真空チェンバー内には、可視光透過率測定と同様にCCDを設置している。

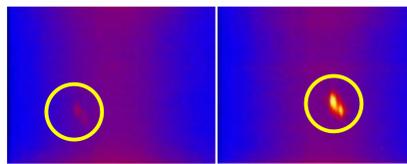
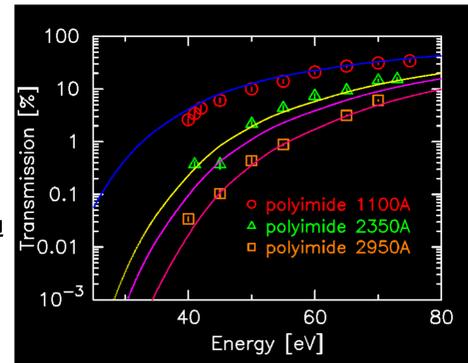


図6. 紫外線を照射したイメージ。左図: Al単層に紫外線を照射したときのイメージ。右図: OBL層に紫外線を照射したときのイメージ。

~紫外線の透過率測定結果と考察~

図7. ポリイミド厚1100Å, ポリイミド厚2350Å, ポリイミド厚2950Åの紫外線透過率測定結果。実線は上から順にポリイミド厚み1100Å, 2000Å, 2400Å, 3000Å, の紫外線透過率の予想値である。ポリイミドが2350ÅのOBL以外の透過率測定結果は設計値から予想した透過率とほぼ一致していることがわかる。



5.X線による性能評価

OBLをコーティングしたCCDが他のCCDと同等のX線検出能力があるか見極めることは重要である。PI層1100ÅのOBLをコートしたCCDとOBLをコートしていないCCDに対して放射線源55FeからのX線を照射しエネルギー分解能を求めた。実験装置を図8に示す。

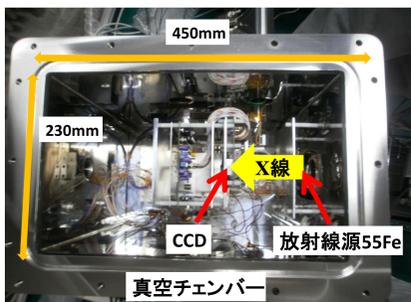
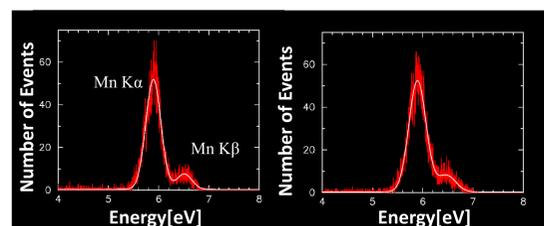


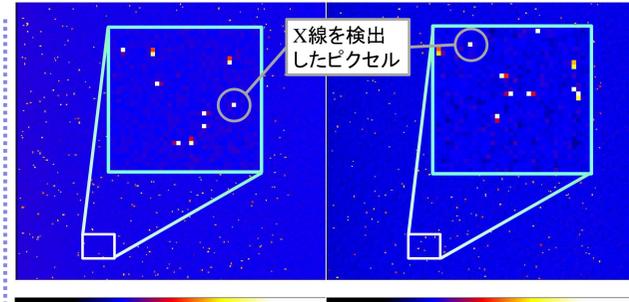
図8. 実験装置。真空槽内に設置したCCDに55FeからのX線を照射する。

~エネルギー分解能の比較~

PI厚1100ÅのOBLをコートしたCCDのエネルギー分解能は408eV±10eV, OBLをコートしていないCCDは352eV±10eVという結果を得た(図9)。



←図9. 55FeからのX線を照射して得たスペクトル。左: OBLをコートしていないCCD。右: PI厚1100ÅのCCD



↑図10. 55Feを照射して得たイメージ。左: OBLをコートしていないCCD。右: PI厚1100ÅのCCD

6.まとめと今後の課題

可視光透過率測定のまとめ

- OBLの可視光透過率が<0.01%程度で、予想値より2桁以上高い値であった。
- ポリイミドの表面にアルミニウムをコートする際に、コートするスピードを調整することで、微小なムラを抑える必要がある。

紫外線透過率測定のまとめ

- OBLの紫外線透過率は、ポリイミド厚1100Åと2950Åについては設計値から予想した透過率とほぼ一致した。
- ポリイミド2350Åは予想値より透過率が高く、2000Å程度の厚みであることがわかった。

X線による性能評価のまとめ

- PI厚1100ÅのOBLをコートしたCCDでも、OBLをコートしていないCCDと同等のX線のイメージを得られた。
- OBLの有無に関わらずエネルギー分解能が十分ではないため、今後CCD駆動クロックや電圧値を最適化を行う。