



先端研究施設共用促進事業 フォトンファクトリーの産業利用促進 利用報告書

課題番号： 2010I013
 研究責任者： 渡辺温、パイオニア（株）研究開発部
 利用施設： 高エネルギー加速器研究機構 放射光科学研究施設 AR-NE7A、BL-14C
 利用期間： 2011年1月～2012年3月

課題名 X線高感度イメージャの開発 The development of high sensitivity X-ray imager

田中亮太、栗田暢之、針谷真人、佐藤貴伸、渡辺温
 R. Tanaka, M. Kurita, M. Harigai, T. Sato, A. Watanabe,

パイオニア株式会社 研究開発部
 Pioneer Corporation、Research & Development Division

アブストラクト：

パイオニア独自の平面電子源アレーHEED (High-efficiency electron emission device) ¹⁾ と、NHKらが開発した高感度な光電変換膜 HARP (High-gain avalanche rushing amorphous photoconductor) ²⁾ を組合せた X線撮像素子を用いて、医療等への応用が可能な VGA 型高感度 X線イメージャの開発を行った。X線を直接 HARP 膜で検出する直接変換方式と、X線をシンチレータで一度可視光に変換した後 HARP 膜で検出する間接変換方式を比較したところ、どちらも $10^4 \sim 10^9$ フォトン/mm²/sec の範囲で動画撮影が可能であり、検出感度としてもほぼ同等であるがノイズの少なさと将来の発展性から間接変換方式が有望という結果を得た。

We developed a highly sensitive X-ray imager, which is applicable for medical use in low X-ray exposure. This imager has a 640×480 pixel X-ray image sensor which is composed of two parts, one is an active-matrix high-efficiency electron emission device (HEED) of Pioneer's original field emitter array, the another is a high-gain avalanche rushing amorphous photoconductor (HARP) target developed by NHK. We compared the direct X-ray sensing method with the indirect sensing one that converts X-ray to visible light by scintillator, from the viewpoint of sensitivity. Since both methods have almost the same sensitivity, they can be available in the moving picture mode ranging 10^4 to 10^9 photon/mm²/sec. The indirect sensing is more promising because of low-noise property and the possibility of other combinations of the scintillator and the target in the further application.

キーワード： X-ray imaging, HEED, HARP, direct X-ray sensing, indirect X-ray sensing

1. はじめに： 高感度光電変換膜 HARP¹⁾ と平面電子源アレーHEED²⁾ を組合せた撮像デバイス (図1) は、8 から 30keV の X線に対して、従来の CCD 等と比較して 10 倍以上の感度を有していることが報告されている³⁾。一方、放射線被曝に対する社会通念は転換期を迎えつつあり、検査や治療を目的とした医療行為における被曝も例外ではなく、弱い X線照射量あるいは短時間での照射による被曝量の軽減が切望されている。

我々は HARP-HEED 撮像デバイスの X線イメージャとして実用化の可能性を検証する為、KEK の放射光 X線を用いて撮像実験を実施した。実験は、特に X線の直接変換方式とシンチレータで X線を可視光に変えて検出する間接変換方式

の比較を中心に行った。

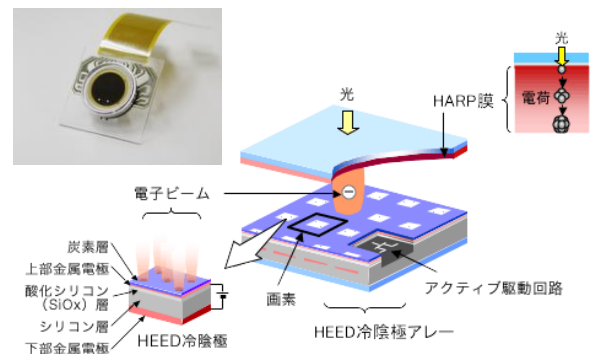


図1 HEED-HARP 撮像デバイスの模式図と外観図 (左上)

2. 実験： ビームラインは主にAR-NE 7Aを利用し、28keVと33keVのX線で、HARP-HEED撮像デバイスを用いたカメラを用いて感度の測定と動画撮影を行った(図2)。ビーム線量は挿入するアルミニウムの板厚を変えて調整した。間接変換では、種々のシンチレータ材質の比較検討を行った。また直接変換においては、図2のシンチレータの位置にカメラを置き、X線による撮像デバイスへのダメージの検証も行った。

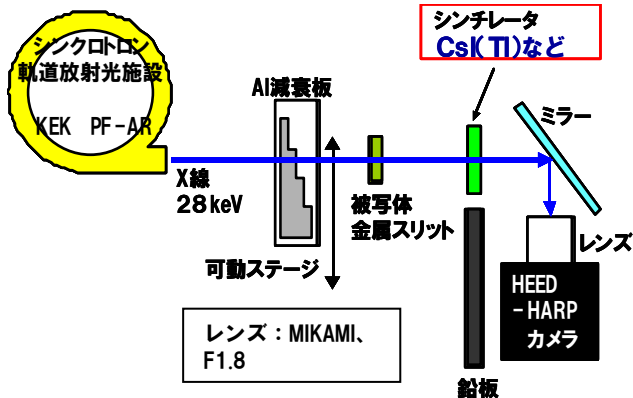


図2 実験構成の模式図(間接変換)

今回合計で5回の実験を行ったが、その日程と実験内容を図3に示す。

①	2011/2/12	間接変換	シンチレータの検討Ⅰ 光学結合方式の検討 基板ダメージの検討
②	2011/7/4	間接変換 直接変換	シンチレータの検討Ⅱ 緑色増感撮像板の検討
③	2011/10/5	間接変換	イメージ・インテシファイアの検討
④	2011/12/20	間接変換 直接変換	シンチレータの検討Ⅲ イメージング評価 イメージング評価
⑤	2012/3/13	間接変換	イメージング評価 基板ダメージの検討

図3 実験日程

3. 結果および考察： 間接変換実験の一例として、ビーム量(フォトン数)をパラメータとして、得られた信号強度を二種類のシンチレータで比較した実験結果を図4に示す。この実験からは、CsI(Tl) A型(柱状晶タイプ)シンチレータの方が、CaF2(Eu)よりも6倍の検出輝度が得られることが示された。またこの違いは、シンチレータの発光特性とHARP膜の分光感度特性から説明できることがわかった。

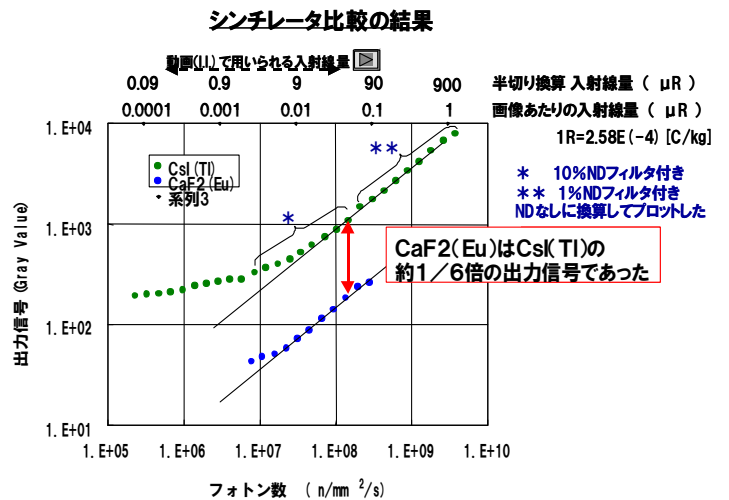


図4 間接変換における入射X線量と出力輝度の関係(シンチレータの比較)

いくつかの種類シンチレータと、分光感度特性の異なる2種類のHARP膜の組合せで同様の実験を行った結果を図5に示す。ここでは、一定の出力信号を得るために必要なフォトン数(N×1E6)を比較している。必要フォトン数Nが小さい方が、感度が高いことを示している。

撮像板	シンチレータ CaF2(Eu) 435nm(λ) 0.5mmt	シンチレータ CsI(Tl) A型 565nm(λ) 0.6mmt	シンチレータ CsI(Tl) B型 565nm(λ) 0.6mmt※	シンチレータ GGAG 530nm(λ) 1.0mmt	シンチレータ無 直接撮像
No.16	N=200	N=10			
No.17	N=200	ND10%	N=80	N=200	
No.58 増感型	N=300	N=6 (推測値)	N=50	N=90	N=7
結果 考察		最も期待できる組合せ			直接も感度はOK

図5 間接変換における各種シンチレータおよび直接変換の比較

これから今回の実験の範囲では、間接変換において最も高感度の撮像が期待できる組合せは、シンチレータとしてCsI(Tl) A型を用い、光電

変換膜として緑色増感型 HARP 膜を用いた場合であることがわかった。

一方、直接変換でも、間接変換において最適化した組合せとほぼ同等の感度であることが示された(図5)。直接変換ではノイズが多く見られたが、これは散乱X線によるものと考えられる。このノイズは時間性の揺らぎを持っており、信号処理によりある程度のノイズリダクションが可能であった(図6)。

また、直接変換では長時間の耐性実験は実施できなかったが、今回の実験範囲では全く撮像デバイスへのダメージは観察されなかった。

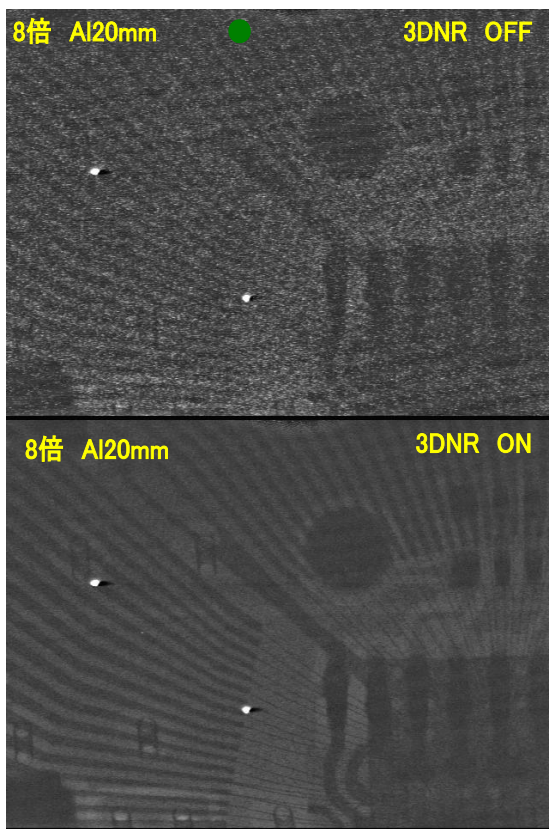


図6 直接変換の撮像例(IC)

上:ノイズリダクション なし

下:ノイズリダクション あり

4. まとめ: 今回の結果からは、間接変換方式と直接変換方式の優劣は明瞭ではなかったが、間接変換ではシンチレータとHARP膜の組合せの最適化を更に図れる可能性がありより有望と考えられる。

今回は、解像度の検証が十分にできなかったが、今後さらに検討を行い、HARP-HEED撮像デバイスの優位性を明らかにして、X線の低被曝を

可能にするカメラとして実用化を目指したい。

参考文献

[1] K. Tanioka, J. Yamazaki, K. Shidara, K. Kawamura, S.Ishioka, and Y. Takasaki, IEEE Electron Device Lett.EDL-8-9, 392 (1987).

[2]N. Negsihi, R. Tanaka, T. Nakada, K. Sakemura, Y. Okuda, H. Satoh, A. Watanabe, T. Yoshikawa, K. Ogasawara, M, Nanba, S. Okazaki, K. Tanioka, N. Egami, and N. Koshida, J. Vac. Sci. Technol. B 24, 1021 (2006).

[3]平成17年度JST先端計測分析技術・機器開発事業「X線HARP-FEA検出器開発 平成18年度成果報告」より