

耐放射線性アクティブ駆動HEED撮像板の開発

Development of an image sensor using radiation-tolerant active-matrix HEED

酒村 一到, 秋山 周哲, 中田 智成, 渡辺 温, 相澤 淳, 大塚 正志,
Kazuto Sakemura, Shutetsu Akiyama, Tomonari Nakada, Atsushi Watanabe, Jun Aizawa, Masashi Otsuka,
石井 邦尚, 吉沢 勝美
Kunihisa Ishii, Katsumi Yoshizawa,

要旨 冷陰極電子源であるアクティブ駆動HEED(High-efficiency Electron Emission Device)は光電変換膜と組み合わせることで、光電変換膜の特徴を活かした撮像素子となる。今回、アクティブ駆動HEEDの耐放射線性向上に取り組み、高感度な光電変換膜であるHARP(High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor)と組み合わせて、放射線耐性に優れたHEED-HARP撮像板を開発した。その耐放射線性HEED-HARP撮像板は線量率480Gy/h、累積線量21kGyのガンマ線環境においても連続撮像が可能であった。また、更なるアクティブ駆動HEEDの耐放射線性向上の検討と、線環境下撮像時のノイズ低減に向けたアモルファス-シリコン光電変換膜への変更の検討を行い、これらの有効性を確認した。

Summary Active-matrix high-efficiency electron emission device (HEED), cold cathode, makes it possible to provide an image sensor by pairing with a photoconductive film. In this study, we improved the radiation-tolerance of active matrix HEED. By pairing the radiation-tolerant active-matrix HEED with the high-gain avalanche rushing amorphous photoconductor (HARP), ultrahigh-sensitivity photoconductive film, we developed the radiation-tolerant HEED-HARP imaging sensor. The image sensor worked continuously in the environment of gamma ray irradiation, the dose rate at 480Gy/h, the total dose up to 21kGy. Additionally, we studied the feasibility of radiation-tolerance improvement of active-matrix HEED and the reduction of noise by using amorphous silicon photoconductive film instead of the HARP photoconductive film. As a result, we got the prospect of our radiation-tolerant image sensor improvement.

キーワード: HEED, アクティブ駆動, 耐放射線性, 冷陰極, 撮像板, HARP光電変換膜, アモルファス-シリコン光電変換膜

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響により、東京電力福島第一原子力発電所で炉心溶融を伴った重大事故が発生した。事故後、原子炉建屋内の放射線量は高い状態が続いたため、CCD等の撮像素子は損傷を受け、建屋内の状況を観察する事は難しい状態となった。CCDやCMOSなどの一般的な半導体撮像素子の耐放射線性は低く、CCDで累積線量500Gy¹程度、CMOSでも1kGy程度で画質劣化が生じる⁽¹⁾⁽²⁾。このため、耐放射線カメラには真空デバイスのカルニコン管等が良く用いられているが、信号読み出しの電子源に熱陰極電子銃を用いているために小型化が困難で、消費電力も大きいという課題がある。それゆえ、耐放射線性に優れた小型・軽量の撮像素子の出現が強く望まれている。

これまで当社では、独自の冷陰極電子源アレイであるHEED(High-efficiency Electron Emission Device)⁽³⁾⁽⁴⁾(以下、HEEDと称する)と、NHK放送技術研究所が中心となって開発したHARP(High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor)光電変換膜⁽⁵⁾(以下、HARP膜と称する)を組み合わせたHEED-HARP撮像板の開発を行ってきた⁽⁶⁾。この撮像板はCCD、CMOSなどの撮像素子と比較して高感度であり、従来の撮像管と比べて小型・軽量・低消費電力という特徴を有している。このデバイスの用途の一つとして、放射線環境下撮像についても可能性検討を進めてきた⁽⁷⁾。その一環として行ったガンマ線(以下、 γ 線と記す)照射実験⁽⁸⁾により、HEED駆動ICを改良することで耐放射線性を向上できる可能性を見出すことができた。そこで、小型・軽量・低消費電力の耐放射線性撮像素

¹ Gy:グレイ。物質が放射線から受けるエネルギー量(吸収線量)の

単位。人体の場合、 γ 線が全身に均等に1Gy当たると1シーベルト。

子の開発を目指し、2012年5月から東京都市大学、パイオニアマイクロテクノロジーと共同で国立研究開発法人 科学技術振興機構(以下、JSTと称する)からの委託開発を開始した。

今回は、アクティブ駆動HEEDの耐放射線性向上とその素子を用いた撮像板でのγ線環境下撮像の結果、そして更なる耐放射線性向上とγ線起因のノイズ低減に向けた検討について報告する。

2. 耐放射線性HEED-HARP撮像板

2.1 HEED-HARP撮像板

初めにアクティブ駆動HEEDとHARP膜について説明する。図1にアクティブ駆動HEEDの断面構造図を示す。HEEDは下部電極、シリコン層、酸化シリコン層、上部電極層、炭素層の積層構造を持つMIS(Metal-insulator-Semiconductor)型の電子源であり、その表面には電子放出部となる直径1μm以下のエミッションサイトを有している。このHEEDをシリコンウェハに作り込んだ駆動IC上に形成したアクティブ駆動HEEDは、マトリクス状の画素構造を有した平面電子源アレイであり、画素毎の電子放出を高速で制御することが可能である。一方、HARP膜はアモルファス-セレンを主成分とする光電変換膜であり、超高感度かつダイナミックレンジが広いという特徴を持つ。このHARP膜に、信号読み出し用の電子源としてアクティブ駆動HEEDを組み合わせると、HEED-HARP撮像板となる。

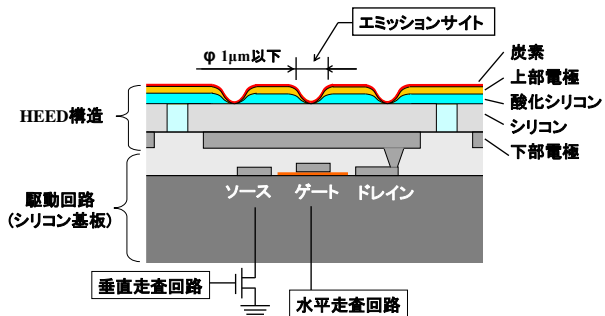


図1 アクティブ駆動HEEDの断面構造図

次に、HEED-HARP撮像板の構造と撮像原理について説明する。HEED-HARP撮像板の断面構造図を図2に示す。HARP膜とアクティブ駆動HEEDを対向させ、その間にメッシュ電極を配置している。また、この撮像素子は外周が密閉されており、その内部は真空である。上方のガラス基板からHARP膜に光が入射すると、その光量に対応した電子・正孔対が透明電極近傍の膜内に生成される。HARP膜には透明電極を介して高電圧が印加されており、電界によって正孔がHEED側の面に向かって移動する。その際、膜を構成する原子と次々に衝突して新たな電子・正孔対が生成される。このようにしてアバランシェ(なだれ)増倍された正孔がHEED側のHARP膜面上に蓄積され、

入射光像に応じた正孔パターンとして形成される。撮像時の増倍率はHARP膜印加電圧を調整することで制御可能である。一方、アクティブ駆動HEEDはマトリクス状の画素アレイ構造となっており、画素毎に電圧印加を行って電子を順次放出する。HEEDから放出された電子はHARP膜に蓄積した正孔と結合し、これによって生じる電流を入射光像に対応する出力信号として検出する。表1に、HEED-HARP撮像板の仕様を示す。

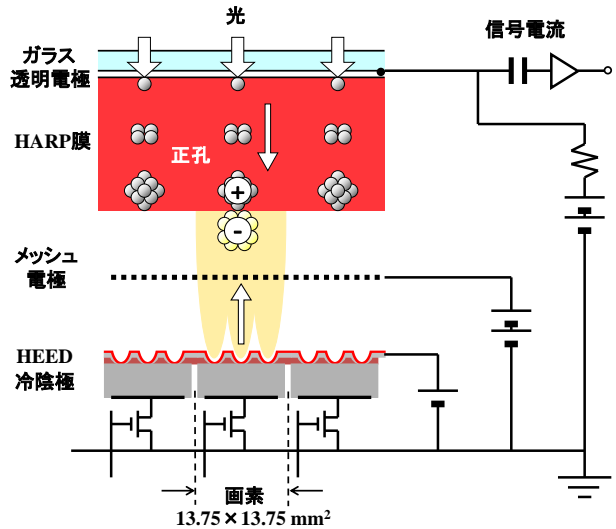


図2 HEED-HARP撮像板の断面構造図

表1 HEED-HARP撮像板の仕様

サイズ	光学2/3インチ
有効画素数	640(H) × 480(V)
電荷増倍率	最大200倍

2.2 耐放射線性HEED-HARP撮像板の開発目標

JSTの委託を受け、ホットスポットのような放射線量が高い環境でも現場の状況を撮像できる小型・軽量・低消費電力の耐放射線性撮像素子の要素技術を開発した。主な開

表2 委託開発での主な開発目標

開発項目	要素項目	最終目標	
HEED駆動IC耐放射線性	ガンマ線耐性	線量率	100 Gy/h 以上
		累積線量	10 kGy 以上
アクティブ駆動HEEDを用いた撮像素子	基本性能	駆動電圧	25 V 以下
		エミッション電流(画素あたり)	1 μA/画素 以上
撮像素子試作(動画フレームレート)		上記線量下で30 fpsの動画	

発目標を表2に示す。次節以降で、開発の概要と結果について報告する。

2.3 耐放射線性駆動ICの開発

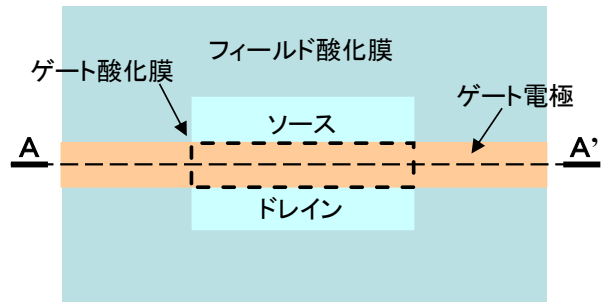
HEEDのアクティブ駆動回路はポリシリコンゲート電極/シリコン酸化膜/シリコン半導体で構成されるMetal Oxide Semiconductor(以下、MOSと称する)構造のシリコン半導体デバイスを使用している(図1)。定常的に放射線が照射された場合、シリコン半導体デバイスで最も問題になるのはシリコン酸化膜などの絶縁膜内に残る正電荷の影響と、絶縁膜とシリコン半導体の界面における界面準位の発生である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

放射線の中でも γ 線やX線は、物質を透過する力がアルファ(α)線やベータ(β)線に比べて強いいため、シリコン半導体デバイスはその影響を受け易い。一般的に、シリコン半導体にはp型またはn型の極性が有り、MOS構造のシリコン半導体デバイスはゲート電極に電圧を印加することで、シリコン酸化膜を挟んで対面するシリコン半導体表面の極性を反転させるように構成されている。この反転したときのゲート電圧を閾値電圧と呼んでいる。 γ 線やX線の照射によるMOS構造のシリコン半導体デバイスの損傷は、シリコン酸化膜へのトータルドーズ効果による閾値電圧の変化が主である⁽¹¹⁾。

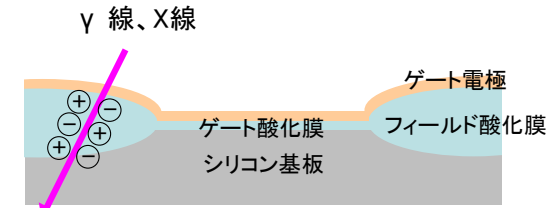
図3にトータルドーズ効果の概念図を示す。図3(a)は図1に示した駆動回路に用いるNチャネルMOS型電界効果トランジスタ(以下、Nch MOSFETと称する)の上面図、図3(b)、(c)は、図3(a)のA-A'において切断した断面図である。また、図3(d)に γ 線やX線の照射によりリーク電流が発生した場合の上面図を示す。

Nch MOSFETにはゲート電極直下にゲート酸化膜が存在し、通常その周辺部には素子間を分離するために酸化膜厚が厚い領域(以下、フィールド酸化膜と称する)を形成する(図3(a))。 γ 線やX線が、図2に示したHEED-HARP撮像板のガラスやHARP膜、メッシュ電極およびHEEDを透過し、駆動回路へ照射されると、ゲート酸化膜やフィールド酸化膜などのシリコン酸化膜中で電子・正孔対が発生する(図3(b))。発生した電子・正孔対の一部はシリコン酸化膜中で再結合して消滅する。再結合しない電子・正孔対のうち、移動度が大きい電子は酸化膜中を移動してゲート電極に流れるが、移動度の小さい正孔は酸化膜中をゆっくり移動してシリコン酸化膜/シリコン基板界面付近の正孔捕獲中心に捕獲される。また、酸化膜厚が厚い程正孔の蓄積効果が大きい(図3(c))。したがって、 γ 線やX線が照射されると、酸化膜厚が厚いフィールド酸化膜領域でリーク電流が発生する(図3(d))。

図4は γ 線やX線の照射前後のNch MOSFETのゲート電圧に対するドレイン電流特性の典型例であり、図中の(i)、(ii)はゲート酸化膜領域の照射前後の特性、(iii)、(iv)はフィールド酸化膜領域の照射前後の特性を示す。照射前に

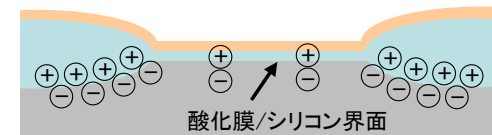


(a) 照射前 Nch MOSFET(上面図)



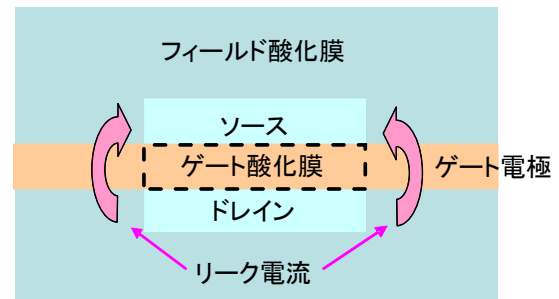
酸化膜中に電子と正孔が発生

(b) 照射による電子正孔対の発生(A-A'断面図)



酸化膜/シリコン界面付近へ正孔が捕獲
酸化膜厚が厚い程正孔の蓄積効果が大きい

(c) 酸化膜/シリコン界面への正孔捕獲(A-A'断面図)



酸化膜厚が厚いフィールド酸化膜領域で
リーク電流が発生

(d) リーク電流の発生(上面図)

図3 Nch MOSFETにおけるトータルドーズ効果の概念図

はゲート酸化膜の閾値電圧(図4(i))に対しフィールド酸化膜のそれは十分高いため(図4(iii)), ゲート電圧オフ時(Voff時)にリーク電流は発生しない。しかし、照射後にはフィールド酸化膜の閾値電圧は膜厚が厚いため大きく負方向にシフトする(図4(iv))。この特性がゲート酸化膜領域の照射後の特性(図4(ii))より負方向にシフトすると、ゲート

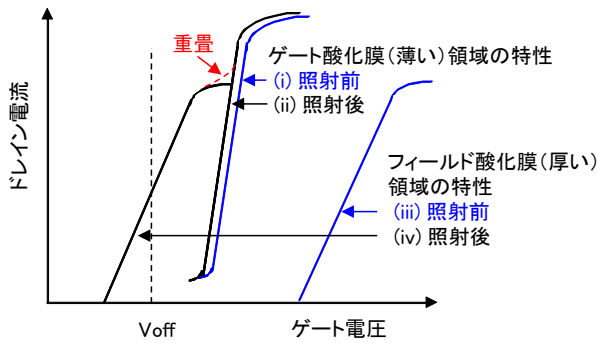


図4 γ 線, X線を照射前後のNch MOSFETのゲート電圧-ドレイン電流特性

電圧オフ時(Voff時)にリーク電流が発生する。実際にはゲート酸化膜領域の照射後の特性(図4(ii))とフィールド酸化膜領域の照射後の特性(図4(iv))が重畳される。

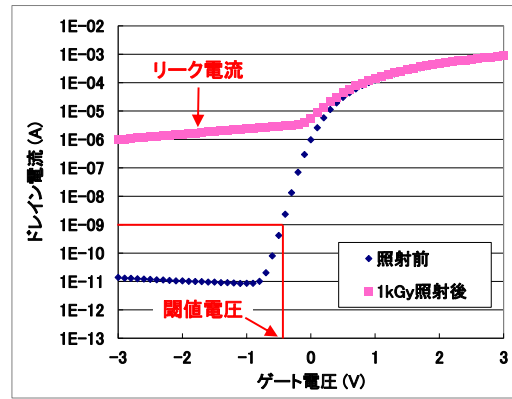
このトータルドーズ効果を解決するために、フィールド酸化膜領域における放射線照射による閾値電圧の変化を前提とした次の3つの対策を行った。

- ①発生する電子・正孔対の数を少なくするため、フィールド酸化膜厚を薄くする
- ②フィールド酸化膜直下の不純物濃度分布を調整し、フィールド酸化膜部分の閾値電圧を十分高くする
- ③酸化膜中に捕獲される正孔数を減少できる酸化膜形成条件を検討する

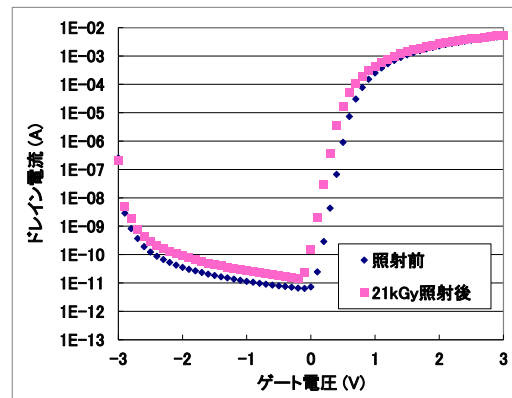
これらを最適化した、Nch MOSFETを設計・試作し、 γ 線照射による耐放射線性評価を行った。 γ 線照射実験は、東京都市大学と共同で実施した。線源はコバルト60を使用し、 γ 線の照射は線量率1kGy/h、累積線量21kGyで行った。また、 γ 線照射中のゲート電極には駆動ICの実駆動状態を想定したDC印加、GND接地、パルス印加の3条件での各条件の閾値電圧変動量を評価した。図5に γ 線照射による閾値電圧の変動量が最大であったDC印加での結果を示す。図5(a)は従来型Nch MOSFETのゲート電圧に対するドレイン電流特性、図5(b)は改良型Nch MOSFETのゲート電圧に対するドレイン電流特性である。また、図5(c)は改良型Nch MOSFETの累積線量に対する閾値電圧の変動量である。閾値電圧はゲート電圧に対するドレイン電流特性グラフにおいて、ドレイン電流が1nA流れたときのゲート電圧の値とした。従来型のNch MOSFETでは累積1kGy照射後にリーク電流が発生してスイッチング動作できなかったが(図5(a)),改良型のNch MOSFETでは累積21kGy照射後もリーク電流の発生無く、ゲート電圧によりスイッチング動作可能であった(図5(b))。また、閾値電圧の変動は、累積線量21kGy以下の範囲で0.2V以下に抑えられていることを確認した(図5(c))。

2.4 耐放射線性アクティブ駆動HEEDの特性

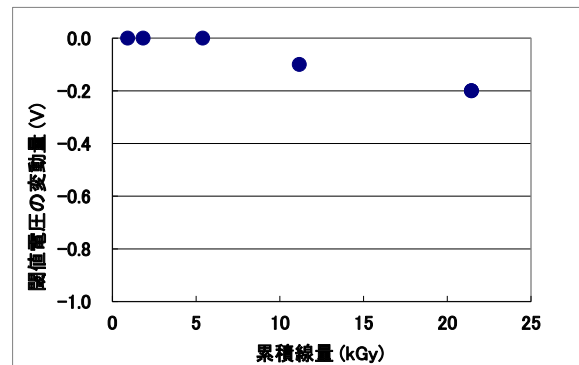
前節で開発した耐放射線性駆動ICを用いたアクティブ駆動HEEDを作製し、これを用いたHEED-HARP撮像板



(a) 従来型 Nch MOSFET のゲート電圧-ドレイン電流特性



(b) 改良型 Nch MOSFET のゲート電圧-ドレイン電流特性



(c) 改良型 Nch MOSFET の閾値電圧-累積線量依存性

図5 γ 線照射によるNch MOSFETの電気諸特性

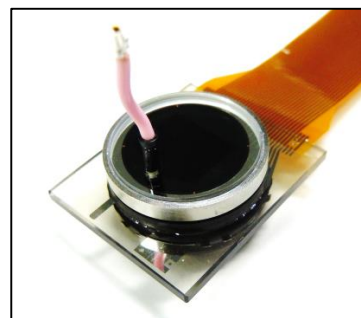


図6 HEED-HARP撮像板の外観

を開発した。作製した撮像板の外観を図6に示す。この撮像板を用いてHEEDの電子放出性能を確認したところ、HEED印加電圧21Vの時にエミッション電流は5.7 μ A/画素であった。この値は耐放射線設計を施していないアクティブ駆動HEEDと同等であり、開発した駆動ICはHEEDを問題無く駆動できる。また、2.2節に示した開発目標(1 μ A/画素以上)を大きく上回る性能を実現できた。

次に、このアクティブ駆動HEEDを用いて、 γ 線照射によるHEEDのエミッション電流変化の有無を調べた。試験は、アクティブ駆動HEEDを駆動しながら、線量率390Gy/h、累積線量16kGyの条件で γ 線を照射して行った。その結果、 γ 線照射前後でエミッション電流は殆ど変化しておらず、開発したアクティブ駆動HEEDも、2.2節に示した開発目標(線量率100Gy/h以上、累積線量10kGy以上)を超える耐放射線性を有していることが確認できた。

2.5 γ 線環境における撮像試験

開発した耐放射線性HEED-HARP撮像板を用いて、 γ 線照射環境下での撮像試験を行った。この時、撮像条件として電荷増倍率は1倍、 γ 線の照射は線量率480Gy/h、累積線量21kGyで行った。なお、撮像板以外のカメラ部分は耐放射線設計が施されていないため、撮像実験を行う際にはレンズ部分のみを開口した厚さ4cmの鉛板でカメラ全体を覆い、 γ 線から保護した。また、本試験における撮像板への照射線量は、撮像板位置で実測している。この γ 線照射試験の前後での通常環境下で取得した画像比較を図7に示す。累積線量21kGyの γ 線照射後でも撮像可能であり、撮像板も目標とした放射線耐性を有している



原画像出典:(一社)映像情報メディア学会

図7 γ 線照射試験前後の画像比較(通常環境下)
(左:照射前, 右:累積線量21kGy照射後)



原画像出典:(一社)映像情報メディア学会

図8 γ 線照射中の画像(線量率480Gy/h)

ことが分かる。なお、照射後には撮像板の感度低下が生じているが、この原因は γ 線照射に伴ってHARP膜を形成した光学ガラスにブラウニングと呼ばれる着色が生じて入射光量(特に短波長の光量)が低下したためと考えられる。対策としては、HARP膜を形成する基板にブラウニングが発生し難い石英等を使用することが有効である。図8に γ 線照射中に取得した画像を示す。 γ 線照射環境下では、通常環境での映像には無かったランダムな白い粒状の明滅するノイズが見られた。このノイズは照射後の通常環境における映像に見られないことから、HARP膜が γ 線に感度を持ち、このために γ 線を検出したものと考えられる。

次に、 γ 線の線量率が画像に与える影響について調べるため、 γ 線照射環境における画像のノイズレベルを評価した。ノイズレベルは、暗所撮像時の静止画から黒の信号レベルを取得し、白を100%とした時の相対値として評価した。この時、撮像条件として電荷増倍率は1倍とした。得られた結果を図9に示す。線量率の増加に伴い、 γ 線照射による画像のノイズレベルは増加している。このことからHARP膜は γ 線に感度を持っていることが分かる。このため、線量率が極めて高い環境では使用し難くなると考えられる。

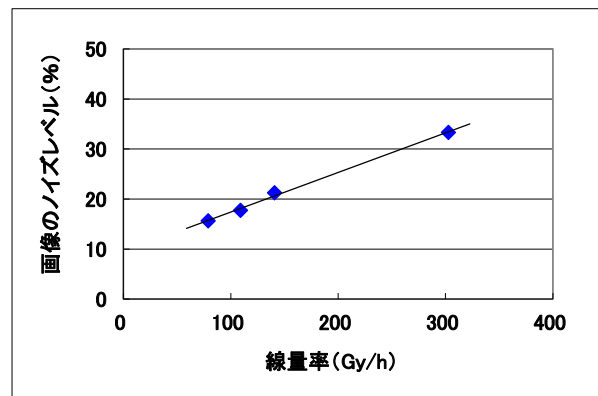


図9 γ 線照射による画像のノイズレベルの線量率依存性

HARP膜の特徴である高感度撮像が可能な線量率の範囲を調べるため、線量率が25Gy/h、60Gy/h、240Gy/hの3条件で、増倍率と暗所撮像を行った際の画像のノイズレベルの関係を調べた。得られた結果を図10に示す。HARP膜印加電圧を上げて電荷増倍率を高くした場合、 γ 線起因のノイズレベルは増加していく。これはHARP膜の特徴であるアバランシェ増倍効果が γ 線照射によるノイズも増加させてしまうためと考えられる。高線量率領域ではHARP膜の高感度特性を活かし難くなるが、25Gy/h程度以下の線量率であれば高感度撮像も可能と考えている。

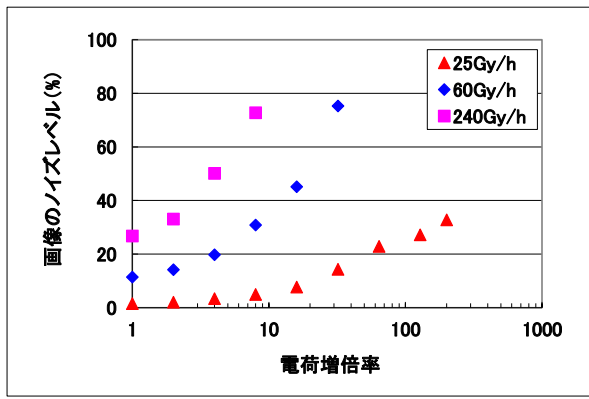


図 10 γ 線照射による画像のノイズレベルの電荷増倍率依存性比較

2.5 委託開発での開発成果のまとめ

2012年5月から2014年3月までに行ったJSTからの委託開発における開発成果を表3にまとめる。目標以上の成果が得られた。

表3 委託開発での目標値と開発成果

開発項目	要素項目		最終目標	開発成果
HEED駆動IC耐放射線性	ガンマ線耐性	線量率	100 Gy/h 以上	1 kGy/h 以上
		累積線量	10 kGy 以上	20 kGy 以上
アクティブ駆動HEEDを用いた撮像素子	基本性能	駆動電圧	25 V 以下	21 V
		エミッション電流(画素あたり)	1 μ A/画素 以上	5.7 μ A
	撮像素子試作(動画フレームレート)		上記線量下で30 fpsの動画	上記線量下で30 fpsの動画

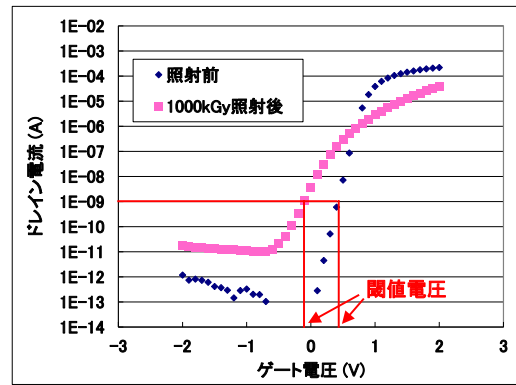
3 耐放射線性HEED-HARP撮像板の特性向上に向けた取り組み

3.1 駆動ICの耐放射線性向上

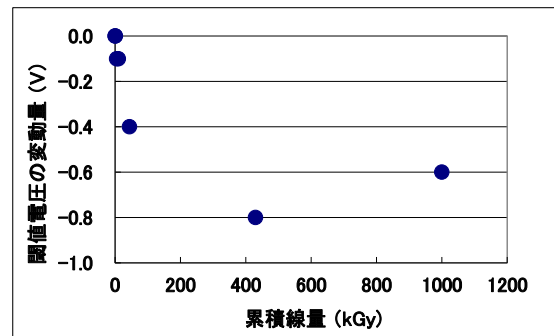
今後の廃炉に対応した燃料デブリの監視・取り出し工程において視覚・計測機器に求められる耐放射線量は、監視工程で線量率10kGy/h以上、累積線量300kGy、取り出し工程で線量率10kGy/h以上、累積線量2000kGyである⁽¹²⁾。廃炉に貢献することを視野に入れて、駆動ICの更なる耐放射線性の向上を目指し、2.3節で開発した改良型Nch MOSFETに累積線量1000kGyの γ 線照射を行い、実現難易度の把握を行った。

γ 線照射は、線量率8.7kGy/h、累積線量1000kGyで行った。また、 γ 線照射中のゲート電極には、2.3節と同様に、DC印加、GND接地、パルス印加の3条件で評価を行った。 γ 線照射による閾値電圧の変動量が最大であった

DC印加での結果を図11に示す。図11(a)は累積線量1000kGy照射前後のゲート電圧に対するドレイン電流特性、図11(b)は累積線量に対する閾値電圧の変動量である。2.3節で示した累積線量21kGy照射の結果同様、累積線量1000kGyの照射でも閾値電圧の負方向への変化が観測された(図11(a))。ただし、初期の変動量は大きい



(a) 1000kGy 照射前後のゲート電圧ードレイン電流特性



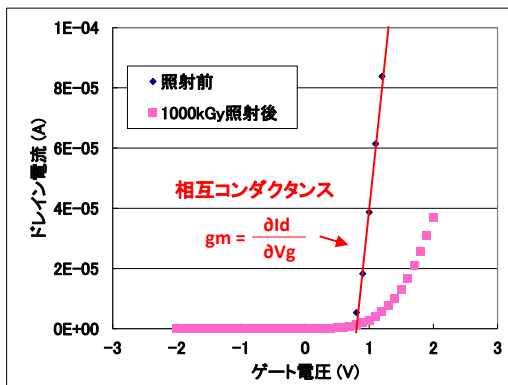
(b) 閾値電圧ー累積線量依存性

図 11 1000kGy 照射による改良型 Nch MOSFET の閾値電圧の変動特性

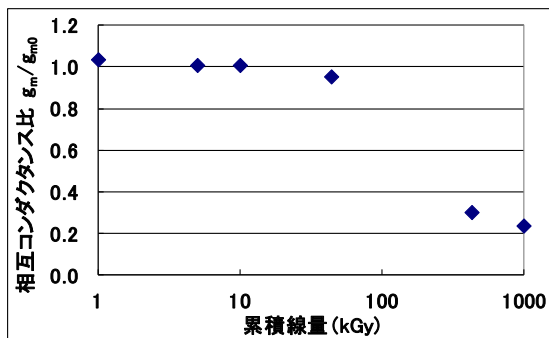
累積線量が400kGy程度まで増加すると飽和傾向を示した(図11(b))。この変動量の程度は、初期の閾値電圧をあらかじめ高めに設計しておくことで累積線量1000kGyの照射を行ってもリーク電流なく、スイッチング動作可能なNch MOSFETを実現できると考えられる。この変動量の飽和現象は、累積線量が400kGy程度まで増加するとシリコン酸化膜中の正孔捕獲準位はほぼ充満してしまい、更に累積線量が増えても正孔捕獲量は殆ど変わらなくなるために飽和したと考えている。図11(a)のゲート電圧に対するドレイン電流特性において、電流値1 μ A程度まで急峻に立ち上がる時の傾き(立ち上がり特性)が緩やかになる現象を累積線量1000kGy照射後に観測したため、その指標となる相互コンダクタンス g_m の定量解析を行った。相互コンダクタンス g_m とは、入力電圧(ゲート電圧)の変化に対する出力電流(ドレイン電流)の変化であり、ゲート電圧に対するドレイン電流特性グラフの線形領域の傾きから算出する。

図12に累積線量1000kGy照射による改良型Nch MOSFETの相互コンダクタンス g_m の変動特性を示す。図12(a)は累積線量1000kGy照射前後のゲート電圧に対するドレイン電流特性、図12(b)は累積線量に対する相互コンダクタンス g_m の変動量である。累積線量1000kGy照射後では相互コンダクタンス g_m の劣化が顕著に観測された(図12(a))。相互コンダクタンスの照射前の値を g_{m0} 、各累積線量での値を g_m とし、その相互コンダクタンス比 g_m/g_{m0} を

プロットすると、累積線量40kGy程度からgmの低下が顕著になり、累積線量1000kGyでは照射前の20%程度まで低下した(図12(b))。相互コンダクタンスgmが低下すると、駆動ICの動作周波数の低下やインバータ回路における貫通電流の増加を引き起こす。この課題に対しては、駆動ICをあらかじめ相互コンダクタンスgmの低下を考慮した回路構成にしておくことにより対応可能と考えている。また、この相互コンダクタンスgmの低下は、γ線照射により経時的にシリコン酸化膜/シリコン結晶界面の界面準位が増加していき、電子の散乱を引き起こすために電子移動度の低下を引き起こしたと考えている。



(a) 1000kGy 照射前後のゲート電圧ードレイン電流特性



(b) 相互コンダクタンスー累積線量依存性

図12 1000kGy 照射による改良型 Nch MOSFET の相互コンダクタンス gm の変動特性

以上より、更に高線量・高線量率での照射によるMOSFETの特性変動の定量把握が必要ではあるが、上述の特性変動をあらかじめ考慮したMOSFETの閾値電圧調整と、駆動ICの回路構成を最適化する事により、累積線量1000kGy以上の耐放射線性駆動ICを実現する見通しを得た。

3.2 γ線起因のノイズ低減

2.4節で述べたように、HARP膜はγ線に感度を有するため、γ線照射環境下では撮像画像に白い粒状のノイズが生じてしまう。γ線やX線は、電子数が多い原子、すなわち原子番号の大きな原子と相互作用し易い⁽¹³⁾ため、セレ

ンより原子番号が小さい元素を光電変換膜に用いることでγ線の影響を低減できる可能性がある。そこで、原子番号が小さく、また可視光域における分光特性に優れたアモルファス-シリコン光電変換膜(以後、α-Si膜と称する)について、耐放射線撮像素子用途の光電変換膜としての可能性を検討した。

α-Si膜の試作は、共同研究を実施した東京都市大学が担当した⁽¹⁴⁾。このα-Si膜とアクティブ駆動HEEDを組み合わせたHEED-α-Si撮像板を作製し、γ線照射中の撮像試験を行った。この時、α-Si膜のターゲット電圧は50V、γ線の線量率は510Gy/hとした。得られた画像を図13に示す。510Gy/hという高線量率環境下でも、映像にはγ線由来の明滅する白い粒状ノイズが殆ど発生していないことを確認できた。



原画像出典:(一社)映像情報メディア学会

図13 HEED-αSi撮像板による、γ線照射中の画像 (線量率510Gy/h)

次に、γ線照射によるノイズレベルの線量率依存性を評価した。評価は2.4節と同様の方法で行った。得られた結果を、HEED-HARP撮像板のノイズレベルと比較して図14に示す。この結果から、510Gy/hまでの範囲でノイズレベルに線量率依存性は殆ど見られなかった。またγ線照射による画像ノイズは極めて少なくなっており、α-Si膜の効果が確認された。

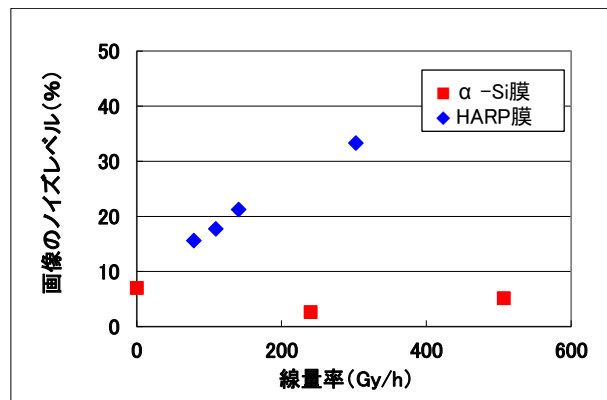


図14 γ線による画像のノイズレベルの線量率依存性比較

今回用いた α -Si膜は開発途中であり、通常環境下撮像時のノイズレベルが高いなど、課題は残っている。しかし、 α -Si膜の γ 線照射環境における優位性は確認できており、HEED- α -Si撮像板が耐放射線性撮像デバイスの有力候補であると考えている。

4. まとめ

耐放射線性アクティブ駆動HEEDと、それを用いた撮像板の開発について報告した。本開発により、ホットスポットのような環境でも使用可能な小型・軽量・低消費電力の耐放射線性撮像素子に関する重要な知見が得られた。

本開発の一部は、独立行政法人 科学技術振興機構 (JST)の研究開発事業「先端計測分析技術・機器開発プログラム」における放射線計測領域・革新技術タイプ(要素技術型)の支援によって行われた。

5. 謝辞

本開発を行うにあたり、JSTの委託開発でサブリーダーとして α -Si光電変換膜の開発や照射試験を主導頂きました東京都市大学 工学部 原子力安全工学科 持木幸一名誉教授に深く感謝致します。

参考文献

- (1) J. M. Killiany, IEEE Trans. CHMT, Vol. CHMT-1, No.4, 353, (1978).
- (2) B. Dryer, A. Holland, N. J. Murray, P. Jerram, M. Robbins, D. Burt, Proc. SPIE, ISOE, 7742 (2010).
- (3) N. Negishi, T. Chuman, S. Iwasaki, T. Yoshikawa, H. Ito, and K. Ogasawara, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 **36**, L939 (1997).
- (4) K. Sakemura, N. Negishi, T. Yamada, H. Satoh, A. Watanabe, T. Yoshikawa, K. Ogasawara, and N. Koshida, J. Vac. Sci. Technol. B **22**, 1367 (2004).
- (5) K. Tanioka, J. Yamazaki, K. Shidara, K. Taketoshi, T. Kawamura, S. Ishioka, and Y. Takasaki, IEEE Electron Device Lett. **8**, 392 (1987).
- (6) T. Nakada, T. Sato, Y. Matsuba, K. Sakemura, Y. Okuda, N. Negishi, A. Watanabe, T. Yoshikawa, and K. Ogasawara, J. Vac. Sci. Technol. B **28**, C2D11 (2010).
- (7) 針谷真人, 佐藤貴伸, 田中亮太, 根岸伸安, 村上浩之, 渡辺温, 横田裕士, パイオニアR&D, Vol.20, No.1, 8-15 (2011).
- (8) 船岡宏樹, 渡辺温, 映像情報インダストリアル, 2013年8月号, 13-19 (2013).
- (9) 大西一功, 放射線による半導体素子の劣化・故障, 日本信頼性学会誌, Vol.26, No.1 (通巻133号), 37-45 (2004).
- (10) JAXA, 耐放射線設計標準, JERG-2-143, 18-20.
- (11) T. R. Oldham and F. B. McLean, Total Ionizing Dose Effects in MOS Oxides and Devices, IEEE Trans. Nuc. Sci., Vol.50, No.3, 483 (2003).
- (12) http://dccc-program.jp/files/20140708_3-1-J.pdf
- (13) 原子力ハンドブック編集委員会, 原子力ハンドブック 第1版, オーム社, 87-92 (2007).
- (14) 吉野貴之, 檜部志弘, 吉田裕紀, 持木幸一, 渡辺温, 酒村一到, 佐藤貴伸, 吉沢勝美, 山華雅司, 久保井宗一, 相澤利枝, 鈴木哲, 日塔光一. 日本原子力学会2014年春の年会予稿集, 東京, 2014-3-26/28. 日本原子力学会, 462 (2014).

著者紹介

酒村 一到(さけむら かずと)

研究開発部 第2研究部 研究2課に所属。
ポリマー二次電池の開発, 電子放出素子の開発に従事。

秋山 周哲(あきやま しゅうてつ)

研究開発部 第2研究部 研究2課に所属。
LCD駆動IC開発, 電子放出素子の開発に従事。

中田 智成(なかだ ともなり)

研究開発部 第2研究部 研究3課に所属。
電子放出素子の開発に従事。

渡辺 温(わたなべ あつし)

研究開発部 第2研究部 HEED担当部長。
DAT用磁気ヘッド, 青色半導体レーザの開発, 電子放出素子の開発に従事。JSTの委託開発における開発責任者。

相澤 淳(あいざわ じゅん)

パイオニアマイクロテクノロジー株式会社 プロセス技術部 プロセス技術課に所属。
光センサIC・LCD駆動IC向け半導体素子開発, 耐放射線性を有するHEED撮像板向け半導体素子開発に従事。

大塚 正志(おおつか まさし)

パイオニアマイクロテクノロジー株式会社 デバイス開発部 デバイス開発2課に所属。
受光IC・LCD駆動IC開発, 化合物半導体素子開発, HEED駆動回路・耐放射線性回路開発に従事。

石井 邦尚(いしい くにひさ)

パイオニアマイクロテクノロジー株式会社 プロセス技術
部 プロセス技術課課長。

ICプロセス開発及び生産技術, LCLVプロセス開発,
LCD駆動IC向け半導体素子開発, 耐放射線性を有す
るHEED撮像板向け半導体素子開発に従事。

吉沢 勝美(よしざわ かつみ)

パイオニアマイクロテクノロジー株式会社 デバイス開発
部 デバイス開発2課課長。

受光IC向け半導体素子開発, LCD駆動IC向け半導体
素子開発, 化合物半導体素子開発, 耐放射線性を有
するHEED撮像板向け半導体素子開発に従事。JSTの
委託開発における分担開発者。