

論文内容の要旨

Development of a dual-energy silicon X-ray diode and its application to gadolinium imaging

(デュアルエネルギーシリコン X 線ダイオードの開発とガドリニウムイメージングへの応用)

(佐藤裕一, 佐藤英一, 江原茂, 小田泰行, 萩原令彦, 松清大, 榎本俊行, 渡邊学, 草地信也)

(Radiation Measurements 77 巻 平成 27 年 4 月掲載)

I. 研究目的

X 線管から発生するフォトンを直接光電変換することでフォトンのカウントし, 最大エネルギーを決定できる高感度シリコン X 線ダイオード (Si-XD) を用いたデュアルエネルギー検出器の開発, デュアル電流・電圧 (I-V) 増幅器の開発, エネルギーの異なる 2 断層像の同時撮影, そしてエネルギーサブトラクションである. よって本研究では, 2 個の Si-XD を使ってデュアルエネルギーシリコン X 線ダイオード (DE-Si-XD) を開発し, Gd-K エッジ撮影とエネルギーサブトラクションを行った.

II. 研究対象ならび方法

デュアルエネルギー X 線 CT (DE-CT) で撮影を行うために, 2 個のセラミック基板 Si-XD (S1087-01, 浜松ホトニクス) と 0.2 mm 厚銅フィルターからなる DE-Si-XD を開発した. DE-Si-XD では, 低エネルギーフォトンにはフロントの Si-XD とフィルターによって吸収され, バック Si-XD では平均エネルギーが増加する. フロント Si-XD において, Si-XD を流れる光電流は電流電圧 (I-V) および電圧・電圧 (V-V) 増幅器によって, 電圧に変換されて増幅される. V-V 増幅器からの出力は電圧を平均化する積分器を介してアナログデジタルコンバーター (ADC) に入力される. バック Si-XD においても同様の増幅法を用いた.

DE-CT システムは X 線装置, 直線 X 線スキャナー, ターンテーブルなどで構成され, 管電圧と管電流はそれぞれ 90 kV と 1.0 mA で, スキャンと回転のステップはそれぞれ 0.5mm と 1.0° である. これらの条件下での撮影時間は約 10min であった. 撮影は, 被写体の直線スキャンと回転を繰り返すことにより行われ, エネルギーの異なる 2 ファイルのプロジェクションカーブが同時に得られた.

III. 研究結果

X 線量率は皮膚線量を計算するのに有用で, 線源から 1.0m の位置で電離箱を用いて測定された. 撮影条件下での線量率は 91.8 μ Gy/s であった.

管電圧が 90kV におけるフロントおよびバックの Si-XD に入射する X 線スペクトルは

CdTe 検出器を用いて測定した。最大フォトンエネルギーは 90keV で、フロントおよびバックで検出される制動 X 線のピークエネルギーはそれぞれ 35 と 53keV であった。Gd-K エッジは 50.2keV ゆえ、バック Si-XD で撮影される断層像は、Gd-K エッジ撮影による画像と同等であった。

Gd 造影剤が入ったガラスバイアルの撮影において、フロント Si-XD では軟質の画像、バックでは Gd-K エッジ撮影による高コントラストの断層像が得られた。また、エネルギーサブトラクションを利用した際には、ガラスバイアルのみ、そして造影剤のみの画像が得られた。さらに、血管に酸化ガドリニウム (Gd_2O_3) のマイクロ粒子が満たされたウサギ頭部の撮影では、バック Si-XD で血管が高コントラストで撮影された。エネルギーサブトラクションでは血管のみと軟部組織のみの 2 画像が得られた。

IV. 結 論

我々は 2 個の Si-XD と 0.2 mm 厚の Cu フィルターからなる DE-Si-XD を開発した。この検出器を用いた場合、フロントとバックの Si-XD が検出できる X 線の実効エネルギーはそれぞれ 33 と 52 keV であった。DE-CT 撮影を行い、エネルギーサブトラクションを行った結果、Gd 造影剤のみが高コントラストで撮影された。

フォトンカウンティング検出器と比較して、DE-Si-XD の利点は高線量率の医用 X 線を検出でき、シンチレーターを用いずに DE-CT 撮影ができること、そしてエネルギー弁別無しで異なるエネルギーの 2 画像が同時に得られることである。一方、欠点はスレッシュホールドエネルギーを設定できない、DE-Si-XD の構造が複雑、そして Cu フィルター厚を変えられないことである。

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 別府 高明 (高気圧環境医学科)
副査 教授 有賀 久哲 (放射線腫瘍学科)
副査 教授 佐々木 真理 (超高磁場 MRI 診断・病態研究部門)

2 個の高感度シリコン X 線ダイオード (Si-XD) を使ってデュアルエネルギーシリコン X 線ダイオード (De-Si-XD) を開発し、その精度を確認するために、Gd-K エッジ撮影とエネルギーサブトラクションを行った。まず、フロントとバックの Si-XD が検出できる X 線の実効エネルギーはそれぞれ 33 と 52KeV であった。濃度の異なる Gd 溶解液を用いてデュアルエネルギー CT 撮影を施行し、エネルギーサブトラクションした結果、Gd 造影剤の濃度に比例して高吸収の被写体を撮影できた。さらに血管内 Gd 注入済みのウサギモデルを撮像した場合も、Gd 注入血管が高コントラストで撮影できた。

本研究で作成された De-Si-XD は、従来のフォトンカウンティング検出器と比較して、高線量率の医用 X 線を検出でき、シンチレーターを用いずに DE-CT を撮影できる点で優れている。

試験・試問の結果の要旨

本研究の研究デザイン設定における基礎的知識、開発された De-Si-XD の利点と欠点、本研究における将来の展望などについて各々試問を行い、適切な解答を得た。学位に値する学識を有していると考ええる。

参考論文

- 1) Quasi-monochromatic X-ray photon counting using a silicon-PIN detector and an energy-selecting device and its application to iodine imaging
(シリコン PIN 検出器エネルギー選択器を用いた準単色 X 線フォトンカウンティングとヨウ素イメージングへの応用) (渡邊学、他 8 名と共著)
Medical Imaging and Information Sciences, 32 巻 2 号 (2015)
- 2) Zero-dark-counting X-ray-spectrum measurement using a cerium-doped yttrium aluminum perovskite crystal and a multipixel photon counter with changes in the pixel number
(YAP(Ce)単結晶とマルチピクセルフォトンカウンターを用いたダークカウントが無い X 線スペクトルのピクセル数による変化) (佐藤英一、他 8 名と共著)
Medical Imaging and Information Sciences, 32 巻 1 号 (2015)
- 3) Investigation of dual-energy X-ray photon counting using a cadmium telluride detector and two comparators and its application to photon-count energy subtraction
(テルル化カドミウム検出器と 2 個のコンパレーターを使ったデュアルエネルギーフォトンカウンティングの研究とフォトンカウントエネルギーサブストラクションへの応用) (萩原令彦、他 8 名と共著)
Japanese Journal of Applied Physics 53 巻 (2014)
- 4) Image-quality improvement in pileup-less cadmium-telluride X-ray computed tomography using a frequency-voltage converter and its application to iodine imaging
(周波数電圧変換機を用いたパイルアップの無いテルル化カドミウム断層撮影における画質改善とヨウ素イメージングへの応用) (嶋村杏奈、ほか 13 名と共著)
Medical Imaging and Information Sciences, 32 巻 2 号 (2014)