

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：35413

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25670541

研究課題名(和文)単色X線撮影システムの基礎開発

研究課題名(英文)Basic trial for establishment of monochromatic x-ray imaging

研究代表者

前田 浩志 (MAEDA, Koji)

広島国際大学・保健医療学部・講師

研究者番号：20330706

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、現在広く医療で用いられている白色X線から、一つのエネルギー成分のみを回折という現象を用いて取り出し、この「単色X線」を利用する新しいX線撮影法のための実験的な研究を行いました。近年では、X線を画像として受け取るためのセンサーが従来よりも高感度になり、これまでは正確な量が測れなかったものでも何とか画像化できるようになってきていることの恩恵も受けて、今回の試みでは、比較的小さい範囲ながらも単色X線撮影を行える段階まで確認できました。この技術をCT撮影にも応用できることも確認しています。

研究成果の概要(英文)：X rays in clinical use are white x rays that have broad energy band, so the strict energy selection is impossible. Then, I attempted a diffraction method for generated monochromatic x rays. The diffracted monochromatic x rays are produced by Bragg diffraction on a silicon single crystal and are imaged as Laue spot on the reflected position. However, it is so difficult to detect of Monochromatic x-rays because of their low dose. Recently, the image detectors i.e. Flat Panel Detector, have higher sensitivity and detectability, so the monochromatic imaging is proceeded. Therefore, the monochromatic Computed Tomography and K-edge subtraction technique is performed by my trial research.

研究分野：医学放射線物理学

キーワード：単色X線撮影 X線回折 X線CT K吸収端 monochromatic x rays x-ray CT x-ray diffraction

### 1. 研究の背景

(1) X線撮影に用いられている白色X線は、被ばく線量を増加させ、エックス線画像の画質を低下させる成分が広く多く含まれていることは理解されている。

(2) 白色X線を単色化する技術はいくつかあるが、いずれも元の線量から大幅に線量が減じられるため実用的ではないと考えられてきた。

(3) Spring8のような大規模施設での単色線の利用を医療に応用することも試みられているが報告者としては、現実的な方向性とは考えていない。

(4) 回折現象を用いた白色X線の単色化では、入射X線および回折単色X線はともに平行光として取り扱われており、これまでの実験的経験では、入射ビームをピンホールのような器具を用いてごく狭い範囲に限定して利用するのが常識であった。

### 2. 研究の目的

(1) 一般に診療で用いられているX線発生装置を用いて、回折現象による単色X線の取り出しを試みる。

(2) 比較的高感度となってきた近年のX線受像系(フラットパネルディテクタなど)と組み合わせることとで画像化の可能性を探ること。

(3) 医療の分野では、分析科学や材料工学のような分野で必要な“非常に明るい光”は、むしろ被ばく線量を増大させるだけで、Spring8のような大規模施設での医学利用応用研究には、誤解があることを示唆すること。

### 3. 研究の方法

(1) 回折用単結晶としてシリコンウェハに着目し、この結晶構造に応じた単色X線の発生量を検討する。

#### (2) 単色X線の発生

高効率の単結晶シリコンウェハを用いて回折を行い、診断用X線撮影装置から単色X線が取り出せるかの挑戦を行う。

X線スペクトルの測定を行い単色性について検討する。

#### (3) 単色X線を用いた撮像法への挑戦

回折単色X線を用いたX線撮影を行い、画像の生成について検討する

いわゆるレントゲン撮影のような単純撮影法よりは、X線CTのような撮影法に適しているであろうと予想され、単色X線CT撮影へのチャレンジを行う。

回折現象を利用する際のこれまでの実験方法の常識にとらわれず、診断用X線装置か

ら照射される円錐状の広がりの特徴をそのまま生かすことができないか検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 最適単結晶の選定

シリコンウェハの結晶構造には、 $\{100\}$  $\{110\}$  $\{111\}$ の三種類があるが、理論上、実験上ともに、 $\{111\}$ 結晶構造の物が高効率に単色X線を発生されると確認された。

一方、高原子番号の単結晶(ゲルマニウムなど)の利用は、自己吸収の影響と思われる線量低下を確認し、単結晶の高価さに対して、実用的でないことも確認した。

#### (2) 単色X線の発生

図1は実験によって、通常のX線撮影装置の前方にシリコン単結晶を設置して回折させた単色X線のエネルギー成分を測定したものである。

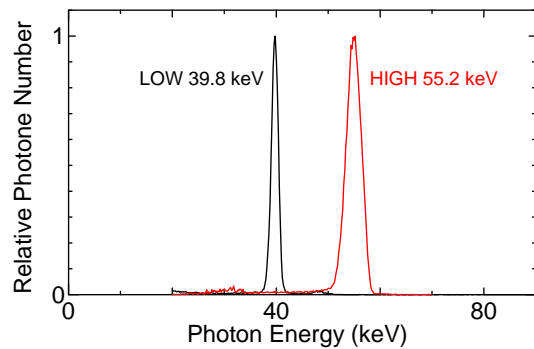


図1 単色X線スペクトル

ブラッグ条件により、シリコン単結晶の結晶格子面への白色X線入射角度を変更することによって、図1のように単色X線のエネルギーを自由に選択できる。スペクトル測定装置の入射させるX線は平行光であると仮定されての理論であるが、診断用X線装置を利用する場合には円錐形に照射されることになるので、入射角度が小さいエネルギーが大きいほど単色性は悪くなっている。

#### (3) 回折単色X線を用いた撮像法の検討

平行光と仮定しての利用

上述のように角度を変化させてエネルギーをそれぞれ変化させた回折単色X線を用いて、被写体撮影を試みた。

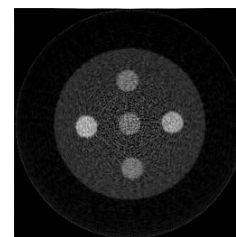


図2 回折単色X線CT

ブラッグの条件によるX線回折では、入射X線は、非常に細い状態で入射させることを前提としており、これにより単色性を担保している。実際に診療用のX線装置とシリコンウ

エハを組み合わせる場合も、照射範囲はスリット状に取り扱う必要があり、幅約6 cm程度の範囲となる。

本来の円錐形照射を生かす新発想  
前項のように回折による単色X線の照射範囲は小さく、また、照射面積を大きくしようとするとその範囲全体でのエネルギー単色性が損なわれる。しかし、報告者は、この照射範囲に着目し、もし、この範囲を大きくとれば、入射角度に幅を持たせることができ、その結果エネルギーが空間的に遷移するような状態を作れるのではないかと考えた。その基礎なる考えを図3に示す。

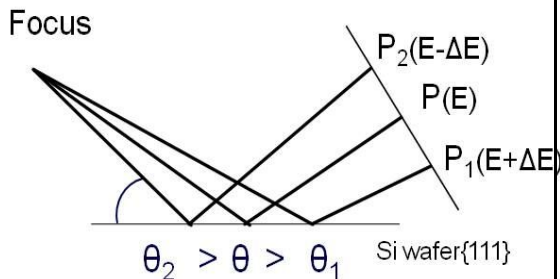


図3 円錐状照射の回折様式

このように、円錐状のX線を入射させる場合、回折された後結像する際にエネルギーが角度ごとに変化するような像が生成されたと考え、実際にその空間的エネルギー遷移像を撮影することができた。

空間的にエネルギーが変化していくような像を利用する方法について検討し、これをK吸収端差分法に適応することに挑戦した。

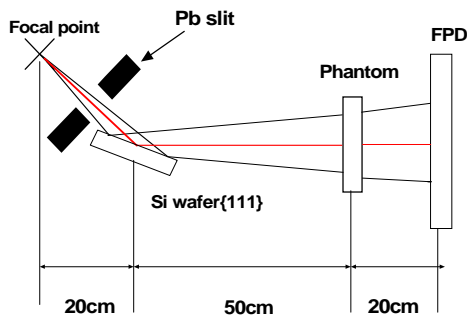
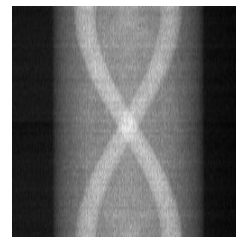


図4 K吸収端差分CTの基礎実験

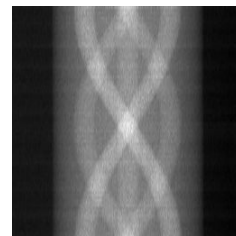
図4のようにファントムに対して回折X線を入射させる。この時、中心線ではある目的の物質、今回の実験では、エックス線検査に用いられるヨード造影剤の主影響成分であるヨウ素(I)のK吸収端に相当するエネルギーを設定する。物資のK吸収端は、そのエネルギーを超えると急激に光電吸収と呼ばれる相互作用が増加し、エネルギーの上昇とは逆にX線の吸収が高まる。つまり、この中心線より低エネルギー側の範囲では、ヨードの吸収は小さく、逆に高エネルギーの範囲では、急激にヨードの吸収が高まり画像に変化が

生じる。一方ヨード以外の元素で構成された他のあらゆる成分は、わずかにエネルギーが変化しただけではその吸収像に変化はほとんど生じない。このわずかに異なるエネルギー差で撮影された画像を差し引きすると、目的のヨードの像のみが描出できると考え、CT画像を用いて挑戦した。

図5には、撮像されたサイノグラムを示す。サイノグラムとは、CT画像の元となるもので、作成の手順は次のようである。被写体にスリット状のX線を照射し、その線状の画像を記録したあと、被写体を回転させ再び同様の撮像・画像記録を行う。これをある角度ごとに回転させて1回転(あるいは半回転)させたところまで撮像を続けて画像を並べたものである。



(a) 低エネルギー画像



(b) 高エネルギー画像

図5 空間的にエネルギー遷移する回折単色X線を用いた撮像サイノグラム

中心線のやや上方を透過して得られた像(a)と、やや下方で得られた像(b)を比較すると、エネルギーがわずかにK吸収端を超えた(b)の画像で(a)にはほとんど見られなかった像が出現している。K吸収端は電子殻のK核による光電吸収と呼ばれる相互作用のトリガーになるエネルギーで、このエネルギーは、すべての元素において別の値をもっている。K吸収端を越えなければ光電吸収は起こらず、超えれば急激に吸収量が跳ね上がるため、図のような変化をもたらしたと言える。

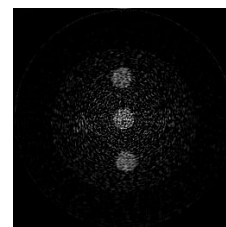


図6 K吸収端差分CT画像例

図6は、上で述べた新たな手法を用いて撮影

したK吸収端差分ヨード描出画像である。撮影被写体に封じたヨード造影剤は、通常の造影剤濃度の20分の1という、極めて低濃度に希釈したものであるが、十分にその存在を認めることができた。造影剤の利用は今日の放射線診療では不可欠なものであるが、その副作用による事象が多いのも事実であり、本手法による造影剤の超低濃度化が実現すればと考えている。

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 1件)

回折単色X線撮影における低濃度薬剤に対する検出特性  
第108回日本医学物理学会学術大会  
(2013.9)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者 ( )

研究者番号：

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：