

ベータ線を用いた X 線 CCD の空乏層厚測定

西岡祐介

宮崎大学工学部教育研究支援技術センター

1. はじめに

厚い空乏層を持つ裏面照射型の X 線 CCD 開発には、空乏層の厚さを厳密に測定するという課題がある。空乏層の厳密な厚さを求めることで裏面照射型 CCD を作る際に中性領域のみを削り取り、より感度の高い X 線 CCD 素子を開発することができるからである。そのためには空乏層厚を厳密に測定する方法が必要である。

空乏層厚を測定する方法の 1 つに大田(2000)[1]が提唱したベータ線を用いた測定法がある。この方法は、ベータ線を斜めから X 線 CCD に入射させ、ベータ線のイベント長と入射角度から空乏層厚を算出するというものである。しかし、ベータ線は、空乏層内で相互作用により、曲がってしまうイベントが多くなってしまったため、直進したイベントと選別するアルゴリズムが必要となる。村吉(2011)[2]、小浦(2012)[3]らにより、アルゴリズムを組み込んだプログラムが開発され、大量のデータ処理が可能となった。しかし、ベータ線源として⁹⁰Srを用いていたことで、曲がったイベントが多く検出され、直進するイベントの統計を増やすことが難しかった。ベータ線源を²⁰⁷Biに変更することで、入射するベータ線のエネルギーが高くなり、直進するイベントの統計が増えることが期待できる。そこで、本研究では、²⁰⁷Biを用いることによる有効性を検討することを目的とする。

2. 斜入射法と検出アルゴリズム

図 1 にベータ線を利用した斜入射法の模式図、図 2 にイベント検出アルゴリズムの模式図を示す。図 1 に示すようにベータ線源から照射される電子線を X 線 CCD に斜入射させ、その時の入射角 θ と入射面に対して水平方向に進んだ長さ a から空乏層の厚さ d を求めることができる。水平方向の長さ a の測定には、X 線 CCD のイメージから電子が CCD の空乏層領域で進む様子が軌跡として現れるので、その長さを用いる。この軌跡のことをイベント、軌跡の長さをイベント長と呼ぶ。空乏層が厚い CCD では、電子線が空乏層内でのクーロン力による相互作用で、直線のイベントよりも曲がったイベントの方が多くなってしまふ。このため、直進したイベントを選別するアルゴリズムを適用させる必要がある。図 2 に示した検出アルゴリズムは、以下のような条件によりイベントの右端から順に判定し、最終的に図 2 の黒いピクセル間の長さをイベント長とする。

1. イベントの右端から右 3×3 ピクセルの波高値 $<$ 閾値 B
2. 注目ピクセルの波高値 \geq 閾値 A、かつ、注目ピクセルの上下それぞれ 1×2 ピクセルの波高値 $<$ 閾値 A
3. イベントの左端から左 1×3 ピクセルのうち隣り合う 2 ピクセルの合計波高値 \geq 閾値 B

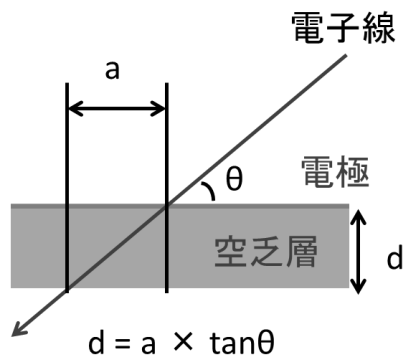


図 1 ベータ線による斜入射法

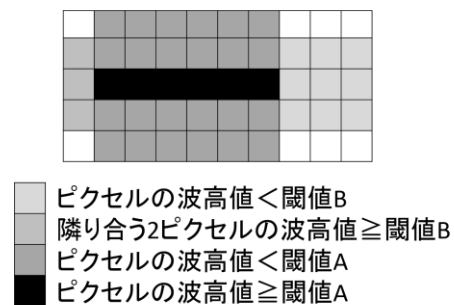


図 2 検出アルゴリズム

3. 実験と解析方法

本研究では、実験と同条件でシミュレーションを行うことによって、実験の信頼性を確かめる。本実験は、宮崎大学森准教授の研究室にある X 線 CCD 実験システムを用いた。図2にセットアップ模式図を示す。実験システム左側に X 線 CCD、右側にベータ線源を入射角 18 度で設置し、 ^{90}Sr と ^{207}Bi の 2 種類のベータ線源を用いてデータ取得を行った。それぞれ、取得したデータに検出アルゴリズムを適用させることにより、イベント長を求めた。シミュレーションは、粒子反応シミュレータプログラムである Geant4 を用いた。実験システムと同条件になるようにジオメトリを配置し、シミュレーションを行った。ベータ線が空乏層内を進む様子を再現するために、空乏層を多層構造にし、位置とその層で失ったエネルギーの情報から実験データと同じフォーマットに変換後、検出アルゴリズムを適用させ、イベント長を求めた。

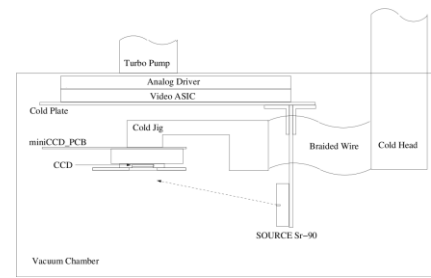


図3 セットアップ模式図

4. 結果と考察

図5に入射角 18 度で X 線 CCD に入射させた時のイベント長の分布を示し、図6にシミュレーション時のイベント長の分布を示す。両図とも横軸がイベント長、縦軸がカウント数で、 ^{90}Sr を実線、 ^{207}Bi を点線で示している。また、表1にこの時のイベント長の平均値を示す。これらの結果より、実験、シミュレーションともに ^{207}Bi のイベント長が長くなることが分かった。直進するイベントが多くなれば、イベント長は長くなるはずだが、この結果から ^{207}Bi の方が斜入射法に有効だと結論づけるためには、ガンマ線の影響なども考慮しないとイケないため、今後の課題としてあげられる。

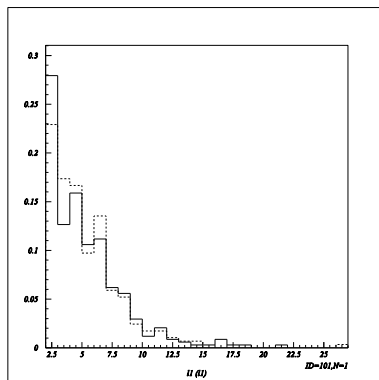


図4 実験におけるイベント長の分布

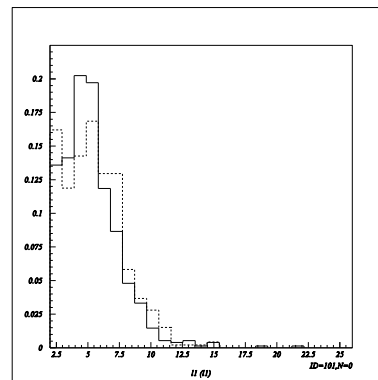


図5 シミュレーションにおけるイベント長の分布

表1 線源毎のイベント長の平均値

	実験結果	シミュレーション結果
^{90}Sr	4.96	5.09
^{207}Bi	5.07	5.26

5. まとめ

X 線 CCD の空乏層厚を測定するためにベータ線を用いた斜入射法で、使用する線源を ^{90}Sr から ^{207}Bi に変更することによる有効性を検討した。実験とシミュレーションを同一条件で行った結果、実験結果、シミュレーション結果のどちらも ^{207}Bi のイベント長の方が長くなった。しかし、 ^{207}Bi の方が斜入射法に有効だと結論づけるためには、ガンマ線の影響なども考慮しないとイケないため、今後の課題としてあげられる。

6. 参考文献

- [1] 大田基在、大阪大学修士論文「電子線による CCD の診断」、2000
- [2] 村吉拓、宮崎大学修士論文「粒子線を用いた CCD の診断」、2011
- [3] 小浦祐明、宮崎大学修士論文「X 線 CCD における粒子線検出アルゴリズムの開発」、2012