

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 後藤俊治

リチウムドリフト型シリコン半導体検出器 (Si(Li)検出器) は、蛍光 X 線分析などのエネルギー分散型の X 線スペクトル測定に幅広く用いられている。しかしながら単色 X 線に対する応答関数は、主エネルギーピークの低エネルギー側への連続的な裾引きを伴い、精度の高い測定においては裾引きによるスペクトルの歪みが問題になる。検出器の応答関数を実験的に求めスペクトルを補正するだけではなく、裾引きを減らし検出器の特性を改善していく上でも応答関数に関する理解が重要であるが、これまで多くの実験やシミュレーションなどによる研究にもかかわらず、応答関数の物理的な形成機構は完全には明らかになっていなかった。

本論文は、「リチウムドリフト型シリコン半導体検出器の応答関数に関する研究」と題して、Si(Li) 検出器の 10 keV 以下における応答関数に関して、物理的考察に基づいたモンテカルロ計算を行い低エネルギー側への裾引きの要因を定量的に明らかにし、また軟 X 線領域のエネルギー分散型計測において応答関数補正が有効であることの一例を示したものである。

第 1 章「序論」では、半導体検出器の特徴および X 線計測における適用分野、半導体検出器の不感層および応答関数の問題とこれらの研究の流れ、本論文の目的および構成が述べられ、第 2 章「Si(Li) 検出器に関する基本的な事項」では、Si(Li)検出器の構造、測定原理、エネルギー分解能、および、検出効率に関し、基本的なことがまとめられている。

第 3 章「応答関数の測定および Hypermet function によるフィッティング」では、10 keV 以下の光子エネルギーにおける応答関数が測定され、経験的な Hypermet function によりフィッティングすることにより、裾引きが Si K 吸収端や Au M 吸収端の前後において不連続に大きく変化することが確認され、Au 電極および Si による吸収に大きく依存することが示されている。

第 4 章「応答関数のモンテカルロ計算」においては、Si(Li)検出器の応答関数の具体的な計算手法がまとめられている。電子のエネルギー損失を計算する上で必要な電子の弾性散乱断面積については、重元素をターゲットとした低エネルギーの電子散乱の場合に Rutherford 散乱断面積を用いた計算精度は悪く、部

分波展開法による断面積を用いることの重要性が指摘されている。また電荷キャリア収集については、Au 電極と Si の界面における表面再結合速度を考慮した境界条件等を設定し、ドリフトおよび拡散項からなる連続の方程式を解析的に解くことにより、一般的な解析解が得られている。さらに、この解析解を空間積分し、時間無限大の極限をとることにより極めて簡単で見通しの良いキャリア収集関数が求められている。

第 5 章「応答関数の計算結果」において、モンテカルロ計算より得られた応答関数は、測定結果と極めて良く一致することが示されている。応答関数の Line shape は主として Au 電極の厚さ、キャリア反射率、部分的有感層の厚さの三つのパラメータによってきまることが示されている。

第 6 章「X 線リソグラフィ用ビームラインの評価への応用」においては、X 線リソグラフィ用ビームラインの光学系評価を例にとり、1 keV 以上の連続 X 線スペクトルを応答関数を用いて正確なエネルギー分散型測定が可能となることが示されている。これによりシンクロトロン放射光の絶対強度スペクトル測定や、エネルギー分散型での X 線全反射ミラーの反射率測定などがより精度良くおこなえるようになり、また低エネルギー側への計測可能な範囲が拡張されることとなった。

第 7 章「結論」において以上の研究の要約がまとめられている。

以上のように、本研究により軟 X 線領域における Si(Li)検出器の応答関数の形成を極めて良く説明できる物理的モデルが得られ、シミュレーションから直接的・定量的に応答関数が求められるようになった。これにより Si(Li)検出器を用いた軟 X 線領域におけるエネルギー分散型スペクトルの測定精度を改善する可能性が示された。実験結果をこれほどうまく説明する応答関数のシミュレーションはこれまでに例がなく、極めて完成度の高いものといえる。本研究は、検出器の材料や形状を変えた場合にも十分実用的に発展・適用できる可能性を示し、各種半導体検出器や超伝導トンネル接合検出器などの製作段階における応答関数の改善の指針を与えたり、エネルギー分散型 X 線計測における精度改善に大いに寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。