

論文内容の要旨

博士論文題目 スピネル単結晶を用いた蛍光体型ドシメータ材料の開発
Development of phosphor-type dosimetric materials using spinel single crystals

氏 名 竹渕優馬

(論文内容の要旨)

ドシメータ材料は個人被ばく線量計やイメージングプレートに応用されており、ドシメータ材料の特性を向上させることで、被ばく線量の測定や医療画像診断をより高精度で行うことができる。上記以外にも環境放射線の測定、インフラ検査、放射線治療など様々な分野で利用されており、各分野の計測技術の向上に伴って、より高性能なドシメータ材料の開発が求められている。また近年では透光性を有するガラス型ドシメータ材料を利用した飛跡検出のような3次元(3D)線量計測についての研究も注目されており、高効率な透光性ドシメータ材料の開発が望まれている。単結晶は一般的な粉末やセラミックスに比べて透光性に優れており、体積効果による高い発光強度や3D線量計測への応用が期待できる材料形態である。一方で一般的な単結晶をドシメータ材料として用いる場合、捕獲中心となりうる欠陥の濃度が低く、最終的な発光強度も低くなる傾向にある。そのためドシメータ材料としての単結晶の研究はあまり進んでおらず、特にバルク単結晶を用いたドシメータ材料の実用化例はない。

スピネルはカチオン反転によって生じる内在欠陥が捕獲中心として働くことが報告されており、ドシメータ材料として有望な化合物である。しかしスピネルのドシメータ特性に関する報告は無添加 MgAl_2O_4 のもの一例を除いてセラミックス形態に関するものである。また光刺激蛍光(OSL)における最適な刺激波長は決定されておらず、デバイス特性として重要な線量応答特性の評価もほとんど行われていない。そこで本研究では高い捕獲中心濃度と高い透光性を併せ持った新規の高効率なドシメータ材料の開発を目的としてスピネル単結晶の作製およびそのドシメータ特性の評価を行った。

第1章の序論、第2章の実験方法に続き、第3章では、Mn添加 MgAl_2O_4 単結晶のフォトルミネッセンス(PL)、シンチレーションおよびドシメータ特性につ

いて評価した。PL、シンチレーション、OSL スペクトルにおいて 520 nm 付近に Mn^{2+} の 3d-3d 遷移に起因する発光が観測された。Mn 濃度が 0.1% のサンプルから最も高い OSL 強度が観測され、OSL 線量応答特性における測定下限値は本研究の最低照射線量である 0.01 mGy であった。

第 4 章では Mn 添加 MgGa_2O_4 単結晶の PL、シンチレーションおよびドシメータ特性について評価した。PL、シンチレーション、OSL スペクトルにおいて 500 nm 付近に Mn^{2+} の 3d-3d 遷移に起因する発光が観測された。Mn 濃度が 0.03% のサンプルから最も高い OSL 強度が観測され、OSL 線量応答特性における測定下限値は本研究の最低照射線量である 0.01 mGy であった。

第 5 章では Mn 添加 ZnGa_2O_4 単結晶の PL、シンチレーションおよびドシメータ特性について評価した。PL、シンチレーション、OSL スペクトルにおいて 500 nm 付近に Mn^{2+} の 3d-3d 遷移に起因する発光が観測された。Mn 濃度が 0.1% のサンプルから最も高い OSL 強度が観測され、OSL 線量応答特性における測定下限値は本研究の最低照射線量である 0.01 mGy であった。

本研究で作製したスピネル単結晶は、市販のドシメータ材料である C 添加 Al_2O_3 よりも高い OSL 強度、優れた測定下限値を示した。これにより既存の線量測定用途における精度向上だけでなく、透光性を活かした新たな線量測定手法への応用などが期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は個人被ばく線量計やイメージングプレートなどに用いられている蛍光体型ドシメータ材料に関する研究である。従来は捕獲中心となりうる欠陥の濃度が低く、最終的な発光強度が低くなる傾向にあるといった理由から単結晶の応用があまり進んでいなかったが、内在欠陥を多く含むスピネル単結晶を用いることで、単結晶の高い透光性とスピネルの高い捕獲中心濃度を併せ持った新規のドシメータ材料の開発を目的としたものである。

第一章では、放射線計測全般やドシメータ材料に関する研究背景や、単結晶に関して概説した後、本研究の目的について述べている。

第二章では、合成手法であるフローティングゾーン法、物性やデバイス特性の計測方法に関して述べている。

第三章では、異なる Mn 添加濃度 (0.05–0.5%) の MgAl_2O_4 単結晶を育成し、特性評価を行った結果、0.1%Mn 添加サンプルが最も高い光刺激蛍光 (OSL) 強度を示すことを明らかにした。

第四章では、異なる Mn 添加濃度 (0.03–1%) の MgGa_2O_4 単結晶を育成し、特性評価を行った結果、0.03%Mn 添加サンプルが最も高い OSL 強度を示すことを明らかにした。

第五章では、異なる Mn 添加濃度 (0.03–1%) の ZnGa_2O_4 単結晶を育成し、特性評価を行った結果、0.1%Mn 添加サンプルが最も高い OSL 強度を示すことを明らかにした。

第六章では総括として、Mn 添加スピネル単結晶が市販のドシメータ材料である C 添加 Al_2O_3 よりも高い OSL 強度および優れた測定下限値を有しており、スピネル単結晶が蛍光体型ドシメータ材料として用いることが可能であることが述べられている。本論文を通じて、スピネル単結晶がドシメータ材料として有望な材料であることを示すことに成功しており、審査員一同は、学術的な意義を認め、本論文が博士(工学)論文として価値あるものと認めた。