

論文審査の結果の要旨

氏名 豊田 新悟

本論文は6章からなり、第1章は光の非相反伝搬に関する過去の研究についてまとめて、本研究の目的を述べている。第2章は、本研究で対象としたメタホウ酸銅の単結晶試料の作製と、光学的な測定方法について述べている。第3章は方向二色性の巨大化の試みとその結果得られた一方向透明現象について、第4章は発光の方向非対称性の測定結果について、第5章は非相反な屈折現象の測定結果について、それぞれ述べている。第6章ではこれらの研究結果を受けて本研究をまとめている。

本論文で対象としているメタホウ酸銅は空間反転対称性を持たない結晶構造を取り、かつ、磁気秩序相において時間反転対称性が破れる物質であり、大きな方向二色性を持つことが知られていた。本論文は、この物質においてさまざまな非相反光学現象を発見したことを報告している。

第1章では、空間反転と時間反転が同時に破れた物質における光の非相反伝搬について、電気磁気効果との関連に基づく理論的な背景と、代表的な過去の研究例について述べている。

第2章では、炭酸リチウムとホウ酸を溶剤とした結晶成長と評価、定常およびパルス強磁場下における光吸収測定、弱磁場低温下での発光分光測定、および、直入射配置での屈折現象の測定の各々の方法論について述べている。

第3章では、まず、メタホウ酸銅の結晶構造、磁気秩序、温度磁場相図、および Ni 部分置換効果といった基礎物性に続いて、外部磁場によるキラリティの誘起や、方向二色性、磁気キラル二色性などの、特異な物性について紹介している。次いで、液体ヘリウム温度、定常強磁場下での光吸収分光実験より、基底状態と励起状態の波動関数を決定している。得られた波動関数に基づいて、より強磁場下での方向二色性の増強を予想し、実際に 53T のパルス強磁場でその予想が正しいことを実証した。また、同じくパルス強磁場下で光の伝搬方向を[110]方向から c 軸方向へと傾けることによって、一方向透明現象を実現した。

第4章では、これまでに報告されている発光の方向非対称性に関して紹介したのちに、メタホウ酸銅の磁気秩序相で実際に観測した発光の方向非対称性について述べている。さらに個々の発光ピークの方向非対称性の符号について考察を行い、発光の始状態や終状態とマグノンやフォノンといった固体内素励起との関連を明らかにしている。また、Cu を Ni で部分置換した単結晶試料についてゼロ磁場においてある方向から観測した発光強度分布像を撮影して、方向二色性を利用した磁化イメージング像と比較している。これにより、発光強度像から磁化のイメージングが可能となることを実証している。

第5章では、まず、これまでの方向複屈折の研究結果について紹介し、光の経路が行

きと帰りで異なるような非相反な屈折現象が理論的に予測されていることを述べている。そのうえで、本研究でとった手法について言及し、メタホウ酸銅を通過したレーザーの輝点が磁化の方向によってシフトしていることを明らかにしている。その磁場依存性や温度依存性、および、理論的に予測されているシフト量との定量的な比較から、実験的に得られた輝点のシフトが方向複屈折を反映した非相反な屈折現象であることを述べている。

第6章では、以上の結果を踏まえて、本論文で得られた知見をまとめている。

本論文では、これまで理論的に予測されながら実証されていなかった光の一方向透明現象や非相反な屈折現象を初めて実現することに成功している。また、発光の観測方向反転に関する非対称性については、磁化観測に供することが可能な大きさに初めて到達したものである。これらの成果は、物理的な考察の深さと、精度の高い実験技術によって初めて達成されたものであり、その価値は高く評価できる。

なお、第3章は有馬孝尚、阿部伸行、嶽山正二郎、松田康弘、池田暁彦、野村肇宏、木村尚次郎各氏との、第4章、第5章は有馬孝尚、阿部伸行両氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、研究の計画、実験、および解析を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。実際、本論文の内容について **Physical Review Letters** および **Physical Review B** 誌に英語で報告した2報の論文では、論文提出者が第一著者となっている。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1791 字