

氏名	遠藤隆 えん どう たかし
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第 919 号
学位授与の日付	昭和 60 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学第一専攻
学位論文題目	ルビー R <sub>1</sub> 線の均一幅と凍結核

論文調査委員 (主査) 教授 端 恒夫 教授 中井祥夫 教授 恒藤敏彦

論 文 内 容 の 要 旨

申請者の主論文における研究は、希薄な (0.0034%) ルビー (Cr<sup>3+</sup>;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の R<sub>1</sub> 線の低温 (~2K), 低磁場 (~500Oe) における均一幅の起源を明らかにしたものである。

均一幅の測定手段としてはレーザー分光の発展に伴って fluorescence-line-narrowing, 光ホールバーニング, フォトンエコー等の手段が開発されているが, 申請者は光ホールバーニングの成長過程を詳しくしらべ, 過渡的な状態で測定することによって, より高い分解能で, 信号対雑音比を損なわずに均一幅を測定しうることを示した。実際申請者は R<sub>1</sub> 線の一つのゼーマン成分である ((1/2)<sup>4</sup>A<sub>2</sub>-(1/2)<sup>4</sup>E) 遷移について磁場 5 KOe のもとで 0.1 MHz<sub>2</sub> という固体では最も狭い線幅を観測している。実験は, 液体ヘリウム中の試料ルビーにアルゴンレーザー励起ルビーレーザー光を照射し, ホールが定常状態に達するまでに照射を中止し, その状態のホールの形を吸収の変化によって観測することによって行われた。このような測定にはレーザー周波数の極めて高い安定性が要求される。申請者は励起アルゴンレーザー光の強度を安定化することが効果的であることを見出し極めて高い周波数安定度を得ている。ホールの形の観測には一般にレーザー周波数の掃引が必要であるが, ルビピの場合は線形シュタルク効果があるため鋸歯状シュタルク電圧を加えることにより目的を達している。

得られた実験結果の一つはスペクトル拡散が認められないということである。則ち光ホールバーニングを作った後, 50 μs から 2 ms にわたってその時間変化を追跡した結果, ホールバーニングの大きさは減少するが, その形は全く変化しないということがわかった。このことから Cr イオンのまわりの近接 Al 核は flip-flop することなく凍結核を作っていることが結論される。

次に過渡的光ホールバーニングの方法を用いて R<sub>1</sub> 線の種々のゼーマン成分について均一幅の測定を行なっている。二本の σ 線および一本の π 線について測定が行われた。磁場 0.5 KOe の測定においてはそれぞれの線の均一幅は異なることを見出された。特に二本の σ 線 ((1/2)<sup>4</sup>A<sub>2</sub>-(1/2)<sup>4</sup>E), ((-1/2)<sup>4</sup>A<sub>2</sub>-(-1/2)<sup>4</sup>E) の均一幅が異なるということは, 均一幅の起因が単純な局所磁場の揺らぎでは説明できないこ

とを意味している。

これらの結果を統一的に理解するため申請者は Cr イオンと 13 個の近接 Al 核よりなる系を考えている。Cr イオンと Al 核の間に極超微細相互作用が働らくことは既に知られている。相互作用の定数は、フォトンエコー変調や PENDOR の実験等から求められているが、申請者は高周波シュタルク変調を用いたコヒーレントラマンビートの実験を行いこれらの定数の値を確かめている。この系は極超微細相互作用のため基底状態及び光励起状態に副準位を有する。基底状態と光励起状態の間の光遷移の均一幅はこれらの稠密に分布した副準位間の光ブランチングの効果として説明される。数値計算の結果は上の実験事実をよく説明している。

申請者は更に均一幅の光強度依存性、即ちパワーブロードニングを詳しくしらべた。この実験を定量的に遂行するにはラビ周波数  $\chi$  の測定が必要であるが、申請者は光学的過渡章動を観測しその周期からラビ周波数を求めている。光学的ブロッホ方程式からは均一幅は  $\chi$  に比例して増加することが予期されるが、実験では  $\chi$  が  $2\pi \times 0.5\text{MHz}$  までの範囲でその増加は極めて緩やかであることが見出された。この事実も上と同様の取り扱いにより定性的に説明された。

参考論文 1～8 は何れもコヒーレント過渡現象に関するもの、9、10 は自然放出及び交差緩和、11 は光ラベル法とスピン-スピン緩和に関するものである。

#### 論文審査の結果の要旨

ルビーの  $R_1$  線は固体中の不純物イオンによるゼロフォノン線の代表的なものとしてその基礎的性質が最もよく調べられているものである。その線幅は温度を下げるにつれて狭くなり液体ヘリウム温度では低濃度の試料の場合  $0.1\text{cm}^{-1}$  程度となる。しかしこれは主として不均一幅によるものであって、緩和の尺度となる均一幅は更に狭いことがレーザー分光、特に fluorescence-line-narrowing, 光ホールバーニグ、フォトンエコー等の方法により確かめられている。しかし均一幅の起因についての決定的な解明は未だなされていない。

申請者の主論文における研究、過渡的光ホールバーニグの手法を開発して低温、低濃度の試料について  $R_1$  線の種々のゼーマン成分について均一幅を詳しく測定し、比較的低磁場 ( $\sim 500\text{Oe}$ ) の場合について均一幅の起因を明らかにしたものである。

申請者の見出した実験事実の中で重要なものは、観測された均一幅が、電子スピンの変化しない 2 種の光遷移  $((1/2)^4A_2 - (1/2)\bar{E})$ ,  $((-1/2)^4A_2 - (-1/2)\bar{E})$  について異なるということである。揺動磁場が電子スピンのあたえる効果の大きさはこれらの遷移について等しい筈であるから、この事実は局所磁場の揺らぎが均一幅の原因であるという従来の単純な考え方では説明できない。そこで申請者は Cr イオンとそれに近接する 13 個の Al 核が極超微細相互作用によって結合された系を考え、これが光励起されたときの時間発展効果として均一幅を説明している。このような考え方の妥当性は、申請者が同時に示した、スペクトル拡散は存在せず 13 個の近接 Al 核は凍結核を作るという実験事実によっても支持されている。申請者の取り扱いは、光励起によって Cr イオン量子化軸の向きが急激に変化し近接 Al 核は新しい有効磁場のまわりを才差運動し始め、その運動による反作用が Cr イオンに及ぼされ均一幅を作るというモデ

ルに対応する。申請者はこの取り扱いによって実験事実を説明しているが、これはストカスティックモデルを用いず、均一幅を Cr イオンと近接 Al 核よりなる一つの巨大分子内の動的過程の形で解釈したものとして注目される。

申請者は又過渡的光ホールバーニングの方法を用いて均一幅の光強度依存性（パワーブロードニング）を詳しくしらべ、その振舞が光学的ブロッホ方程式から予期されるものと著しく異なるという実験事実を見出している。固体のパワーブロードニングが光学的ブロッホ方程式では記述できないという事実は、最近  $\text{Pr}^{3+}:\text{LaF}_3$  について見出され注目を集めているものであるが、同様の現象がルビーについても見出されたことの意義は大きい。申請者はこの効果も上のモデルを用いて説明することを試み、定性的ではあるがその説明に成功している。

以上のように申請者の主論文における研究は過渡的光ホールバーニングの手法を開発してルビー  $R_1$  線について幾つかの新しい実験事実を見出し、 $R_1$  線の均一幅について非ストカスティックモデルによる説明を与えたものである。見出された実験事実はルビーの緩和過程に関する重要な知見であり、申請者の示した解釈と共に今後の緩和現象の研究に貴重な貢献をなすものと考えられる。また参考論文は何れも申請者の学識と優れた研究能力を示すものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。