

氏 名	中 西 俊 介 なかにし しゅんすけ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 649 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 1 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	スタルクスイッチ法によるルビー R_1 線の光コヒーレント効果 と高分解能分光

論文調査委員 (主 査) 教 授 端 恒 夫 教 授 富 田 和 久 教 授 中 井 祥 夫

論 文 内 容 の 要 旨

申請者の主論文における研究は、CW ルビーレーザとスタルクパルスを組合せた所謂スタルクスイッチ法を用いてルビー ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$) の R_1 線について種々の光コヒーレント効果を観測し、その解析を行うと同時に、これらの効果を利用して高分解能分光の研究を行ったものである。

光源となる CW ルビーレーザは液体窒素温度に冷却したレーザロッド (0.05wt%, 両端面ミラー蒸着) をアルゴンイオンレーザで励起して発振させるもので、最大出力 120mW, 温度制御によって波長 $6937\text{\AA}$ 近傍で周波数を約 10GHz 掃引出来る。試料ルビー (0.05 wt%~0.0034 wt%) は液体ヘリウム温度に保たれ C 軸方向に $10^2\sim 10^3\text{V/cm}$ 程度のスタルク電場がパルスの (パルス巾 10ns~数 $10\mu\text{s}$) に加えられる。入射レーザ光の偏光方向は C 軸に垂直で σ 遷移が励起され、又 C 軸方向に略平行に静磁場が加えられている。観測する信号の種類に応じて異なったスタルクパルス列が用いられ、信号は透過レーザ光とのヘテロダインビートとして検出される。このような方法で optical free induction decay(fid), 2-pulse photon echo, stimulated photon echo 及び radiation locked echo が観測されている。

optical fid については optical hole burning が共存する場合の効果について特に詳しく調べられている。即ち最初比較的長い ($0.5\sim 2\mu\text{s}$) スタルクパルスを加え、このパルスによる fid が消失した後に、短い ($\sim 100\mu\text{s}$) パルスを加えると、第二のパルスのみを単独に加えた場合に比して遙かに長い decay time を持つ fid が観測された。これは第一パルスによって不均一巾中に狭い optical hole burning が作られ、第二パルスによって、この hole burning の近傍のみのイオンが寄与する fid が観測されていることによる。申請者はこの方法を不均一巾中に埋もれている微細なスペクトル構造を検出する手段として利用し、 Cr^{3+} イオンと周囲の Al 核の間の super hyperfine(shf) 相互作用の効果を fid の modulation として検出する事に成功している。分解能はレーザのスペクトル巾で制限され約 1 MHz であった。

申請者が最も力点を置いているのは stimulated photon echo に関する研究である。stimulated echo は三つのパルスによって生ずる echo で、第一、第二にパルスの間隔を τ , 第二、第三パルスの間隔を T

とすると第三パルスの後 τ 時間経過した時点で現れる。spectral diffusion が無い場合は echo の T に対する減衰は縦緩和時間 T_1 で決り、固体の場合は通常横緩和時間 T_2 よりも遙かに長い。従って stimulated echo の T に対する modulation を観測し得るならば fid や通常の echo を用いる方法に比して遙かに高い分解能で微細構造を分離することが出来る。

申請者は stimulated photon echo 信号を検波、積算し、T を掃引して Cr-Al shf 相互作用による modulation を検出することに成功している。modulation pattern は磁場の値、磁場と C 軸のなす角によって著しく変化する。modulation は数 MHz から 10 KHz に亘るフーリエ成分を持ち、分解能としては最大 10^{11} が得られている。modulation の生成機構及び modulation pattern の解析は基底状態 4A_1 励起状態 $\bar{E}(^2E)$ に夫々スピンハミルトニアンを設定して行われ、modulation pattern を与える理論式が導かれた。実験との比較のため13個の隣接 A_1 核の影響迄考慮し、現在知られているハミルトニアンのパラメータの値を用いて数値計算が行われた。これらのパラメータの値は fid 或は 2-pulse photonecho modulation の実験結果をよく説明するものであるが、stimulated photon echo modulation の実験結果と比較の結果、修正を要することが判明した。

2-pulse photon echo についても modulation を観測しているが、これは以前に報告されたものの確認である。radiation locked echo についてはその観測と生成機構の解析がなされている。

申請者は、更に fid, 2-pulse photon echo, stimulated photon echo の強度の磁場依存性を詳しく調べ harmonic point と呼ばれる磁場で強度の鋭いピークが存在するという新しい知見を得ている。これはスタルクスイッチングの様に CW レーザによる照射が常に行われている実験に特有な現象で optical pumping と cross relaxation の総合効果として理解される。

参考論文は何れもルビーのレーザ分光に関するもので、その 1 は単一周波数レーザの照射によって同時に幾つかの周波数の位置に hole burning が生ずる現象を見出したもの、その 2 はレーザ出力が弱い時に hole burning に関連して現れる新しいコヒーレント効果の報告、その 3 はスタルクスイッチ法を用いて種々のコヒーレント効果を観測したもの、その 4 は回転系エコー (nutation echo) を見出したものである。

論文審査の結果の要旨

光コヒーレント効果の研究は量子光学における基礎的課題の一つであると同時に、時間領域分光の新しい手法を提供しつつある。

申請者の主論文における研究は、ルビー R_1 線について幾つかの新しいコヒーレント過渡現象を観測し、その解析を行うと同時に、これらを利用して高分解能分光を行い、従来の方法では到達し得なかった高い精度で、ルビー中の Cr^{3+} イオンと周囲の A_1 核との super hyperfine (shf) 相互作用による極めて微細なスペクトル構造を検出したものである。

具体的には optical hole burning の存在する系での optical free induction decay (fid) の研究及び stimulated photon echo modulation の研究が注目に値する。

optical hole burning は広い不均一巾を持つ遷移をスペクトル巾の狭い光源で励起した時に生ずる局所

的な分布の変化である。レーザのスペクトル巾が充分狭く且 saturation が殆んど生じていない状態では hole 巾は $1/T_2$ (T_2 : 横緩和時間) 程度となり, hole burning の効果を受けたイオンのみを撰択的に検出すれば, 実効的に不均一巾を除去した高分解能分光が可能となる。申請者はこの様な発想のもとに予め狭い hole burning を作った系について fid の観測を行い, Cr-Al shf 相互作用の効果を fid の modulation として検出している。この modulation は quantum beats の一種でルビーについての最初の観測例である。しかしこの方法による分解能はレーザのスペクトル巾によって制限され 1 MHz 程度であった。

申請者の研究の最も著しい成果は stimulated photon echo modulation の検出及びこれを利用した高分解能分光の遂行である。stimulated echo は三つのパルスを時刻 $t=0, \tau, \tau+T$ に加えた時 $t=T+2\tau$ に現れる echo であるが, 時間 T の間は echo を生ずる memory が population grating の形で蓄えられている点で, 他のコヒーレンスのみが関与する echo に比し独自の特性を持っている。spectral diffusion が存在しない場合は stimulated echo の T に対する decay time は縦緩和時間 T_1 であり, 固体の場合には通常横緩和時間 T_2 より遙かに長い。従ってこの echo の T に対する modulation を観測する事が出来れば通常の photon echo 或は fid (何れも decay time は T_2 を越えない) では検出し得ないスペクトルの微細構造が検出可能となる。この様な stimulated echo modulation の存在は磁気共鳴の分野で理論的に予測されていたが其の実験例は報告されていなかった。申請者は optical branching を伴うような励起がなされるならばルビーについて Cr-Al shf 相互作用による stimulated photon echo modulation が現れることを理論的に示し, 同時に其の観測に始めて成功している。この方法によって申請者は約 10 KHz 即ち 10^{11} という, 従来の方法では到達し得なかった高分解能の分光を行い, 現在迄に求められていた Cr-Al shf 相互作用のパラメータの値, 特に電気四重極結合係数の値は修正を要するものであることを見出している。

申請者は以上の他にもコヒーレント過渡信号強度の磁場依存性について興味ある新しい知見を見出しその解釈を与えている。

以上を要するに申請者の研究は新しい光コヒーレント効果を観測し, これを用いて高分解能分光を行い, ルビーの中の Cr-Al shf 相互作用に関して従来の方法では得られなかった知見を得たもので, 量子光学, 原子物理学の分野に極めて貴重な寄与をなしたものである。

参考論文は何れもルビーのレーザ分光学に関するもので主論文と併せて申請者の充分な学識と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。