

氏 名	高 木 芳 弘 たか き よし ひろ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 439 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 3 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	超短光パルスによるルビーにおけるゼーマンコヒーレンスの 励起

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、モードロックレーザによる超短パルス光励起を用いて、固体の Zeeman Sublevel 間の Coherence (Zeeman Coherence) の生成及び検出に始めて成功したものである。実験は試料ルビー ($\text{Cr}^{3+} : \text{Al}_2\text{O}_3$) とモードロックレーザの組合せを用いて常温で行われている。モードロックレーザの出力は円偏光とされ試料の C 軸に沿って加えられ、試料には又 C 軸に垂直に静磁場が加えられている。光パルスの幅 ($\sim 50\text{psec}$) は基底状態のラーモア周期及び緩和時間に比べて充分短く、光パルスの効果は impact excitation と見做され、磁場に垂直方向の磁化即ち Zeeman Coherence が作られる。この磁化はパルスが切れた後、磁場のまわりを precess し、パルス磁気共鳴における同様の信号 free induction decay (fid) を生ずる。Coherence の生成はこの信号を pick-up coil 又は cavity を用い磁氣的に検出することによって確認されている。申請者の実験では基底状態 ${}^4\text{A}_2$ の Zeeman Coherence が UHF 帯 ($300\sim 700\text{MHz}$) 及びマイクロ波帯 ($8\sim 9\text{GHz}$) の fid 信号として観測されている。信号の decay time は nanosec (10^{-9}sec) 領域にあり、このような高速過渡信号を忠実に検出するため検出系の応答速度に十分な注意が払われている。光励起状態 $\bar{\text{E}} ({}^2\text{E})$ の Zeeman Sublevel 間の緩和時間は常温では極めて短い (数 psec) 為、この状態における Coherence は観測されない。

理論的解析は光遷移の撰択則、遷移確率を用いたレート方程式及び基底状態のスピンハミルトニアンを用いた密度行列の運動方程式を解くことによってなされている。低磁場で観測される UHF 帯の信号は、仮想スピン $\frac{1}{2}$ の系と見做される ${}^4\text{A}_2$ のクラマース二重項 ($\pm \frac{1}{2}$) の間の Coherence として理解される。高磁場でのマイクロ波帯の信号は複雑な level mixing を持った二つの Zeeman Sublevel の間の Coherence で、この場合には方程式は解析的に解くことが困難な為、数値解を求めて実験との比較が行われている。何れの場合も実験との一致は良好である。又この実験で得られた fid 信号はパルス ESR による信号と同じ性格を持ち、そのフーリエ変換は CW 法 ESR によって求められた線形に対応するものである。その観点から、ESR の既存のデータ及び ENDOR や Photon Echo 等の実験結果を参照して、線幅の起因、特

に Al 核による Super-hyperfine interaction の静的、動的効果についての考察がなされている。

申請者は単一光パルスによる fid 信号の検出のみでなく、モードロックパルス列の間隔をラーモア周期に等しくした時に得られる sustained precession をも観測している。この場合には coherent 効果は共鳴的に増幅され、大きい precessing magnetization が得られる。

更に C 軸に平行に 2KO_2 、或は 4KO_2 の磁場を加え level crossing 点近傍に持って行った後、C 軸に垂直に小さい磁場を加え anticrossing を起させた状態で光パルスを加え、有効磁場のまわりの precessing magnetization、即ち anticrossing level の間の coherence を観測する実験にも成功している。

又 Q スイッチパルスを用いた Hanle 効果の実験を行い impact excitation による実験との関連をしらべている。

磁場を C 軸に平行に加えることによって、光励起によって作られた磁化を用いてスピン格子緩和時間を測定することも行われている。常温付近では緩和時間は略 T^{-2} の形で変化することが見出され、デバイ温度以上の高温域に於けるラマン過程によるものとして理解されている。

参考論文その 1 は所謂 dressed atom の性質を巧みに利用して、新しい型の nutation echo を生成しうることを光ポンプされた Rb 原子系を用いて実験的に示したものである。その 2 及びその 3 は何れも主論文の先駆をなすもので、その 2 は impact excitation によって UHF 帯の Zeeman Coherence を生ずること、その 3 はマイクロ波帯に於ても同様の現象がおこることを示したものである。

論文審査の結果の要旨

共鳴的な光励起によって、基底状態或は光励起状態の Zeeman Sublevel 間の Coherence (Zeeman Coherence) を作りうることは、気体の光 pumping の研究に於て確かめられている。

同様の現象を固体試料について観測することは、量子光学及び磁気共鳴分野の課題として極めて興味あるものであるが、固体試料に於ては、一般に Zeeman Sublevel の幅が広く緩和時間が短い為、其の観測は困難と考えられ、現在迄にその成功例は報告されていなかった。

申請者の主論文における研究は、モードロックレーザによるピコ秒パルス光を利用すれば緩和時間及びラーモア周期に比べて充分短い時間内に強力な impact excitation を行うことが可能であるという予想のもとに、試料ルビー ($\text{Cr}^{3+} : \text{Al}_2\text{O}_3$) とモードロックルビーレーザの組合せを用いて行われたもので、始めて固体試料の Zeeman Coherence の光学的励起に成功したものである。

申請者の用いた方法は気体における Quantum Beat の実験にヒントを得たものであるが、固体試料に適用するに際して、光学的異方性の存在、及び短い緩和時間に伴う高速過渡信号検出の必要性を考慮した独自の工夫が加えられている。

実験は常温で行われ、光励起状態の緩和時間は極めて短く、光領域の Coherent 効果は関与しない。従って理論的解析は、光学的レート方程式と基底状態のスピンハミルトニアンを用いた密度行列の運動方程式を用いて行われている。理論と実験の一致は良好で、種々の Zeeman Sublevel の対について Zeeman Coherence の光学的生成の機構が一般的立場から基礎づけられている。

申請者の行った実験の主要なものは、単一光パルスによる impact excitation と横磁場の組合せによる

Zeeman Coherence の生成であるが、更に進んで periodic excitation による Coherence の共鳴的な増幅, anticrossing level 間の Coherence の生成, Hanle 効果の実験等の一連の研究をも行い、当初の課題を上回る豊富な内容を持った成果をあげている。

申請者の研究は固体における電磁波と物質の相互作用に関する基礎的研究として興味あるものであると同時に、高速パルス ESR 法の開発の端緒を与えたという点で極めて意義のあるものである。即ち ESR に於ては一般に線幅が広く、横緩和時間が短い為、NMR におけるようなパルス法の適用は困難であると考えられていた。しかし申請者の考案した超短パルス光励起の方法によれば、適当な光学遷移をレーザーによって励起することが可能な場合には、緩和時間が nanosec (10^{-9} sec) 程度の場合にも free induction decay 信号を観測することが出来、F.T.ESR を行いうることが期待される。更に申請者の方法は i) 磁化そのものを光励起によって作る為、必ずしも高磁場、低温を必要とせず、常温、低磁場に於ても実験可能である、ii) 光励起状態 ESR への適用も原理的には可能である、等の有用な特性を備えている。本研究について見れば、例えば i) 申請者の用いた試料、ルビー、はすでに ESR による詳しい研究がなされているものであるが、この物質についても従来知見の得られなかった低磁場における線幅に関するデータが free induction decay time の測定から得られている、又 ii) 高温域でのスピン格子緩和時間の温度依存性について、略 T^{-2} に比例するという新しい知見が得られ、デバイ温度以上の高温域におけるラマン過程として説明しうることが示されている、等の事実が認められる。

以上を要するに申請者の主論文における研究は磁気共鳴、及び量子光学の分野における独自性の高い先駆的研究であり、これらの分野の発展に貴重な寄与をなすものと考えられる。

参考論文その 1 は気体の光 pumping 分野における基礎的研究、その 2 及び 3 は主論文の素材をなすもので何れも価値あるものである。

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。