

【 62 】

氏 名	齋 藤 富 士 郎 さい とう ふ じ お
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 176 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	Operation of a Laser-Pumped Ruby Maser at 77°K (レーザ, ポンプによるルビーメーザの 77°K における動作)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 橋 勲 教 授 富 田 和 久 教 授 松 原 武 生

論 文 内 容 の 要 旨

主論文はルビー・レーザ光でポンピングされたルビー・メーザの動作に関する実験とその定量的な解析である。レーザ・ポンプ・メーザの動的振舞を記述するために、原子系に対しては、密度行列方程式を、電磁波に関しては、光子数が非常に大であるので、古典的な Maxwell 方程式を採用した。Maxwell 方程式の外力に相当する項を与える磁気分極は、密度行列方程式から決定され、又同時に密度行列の時間的な変化は、Maxwell 方程式から決定される電磁場によって支配される。しかし、メーザ・空洞は、信号波に対してのみ高いQ値を有している。

両方の方程式系から出発して、最後にレーザ・ポンプ・メーザの振舞を記述する連立非線型微分方程式を得た。この方程式は、信号周波数に対応する二つの準位の分布数と信号電磁波の電力とに対するものであり、Statz-de Mars が二準位メーザに対して導いている方程式の三準位メーザへの一つの拡張となっている。

この方程式の定常解と非定常(数値)解を求めることによって次のことが明らかにされた。

(1) 定常状態では、系の温度と準位間の緩和時間とで決まる周波数 $f_{\max}$ が存在し、信号周波数 $f_s > f_{\max}$ では、レーザ・ポンプ・メーザは実現不可能である。たとえば、温度 77°K の時、ルビーに対しては、 $f_{\max} \cong 9 \text{ GHz}$ となる。

(2) ポンプがパルスの形で与えられる時は、たとえ $f_s > f_{\max}$ でも、メーザ作用が行なわれる。実際、後述の 24 GHz , 77°K でのレーザ・ポンプ・ルビー・メーザのパルス実験の出来たことは、この過渡効果によって説明される。

申請者の実験は、パルス・ルビー・レーザ光でポンピングされた 24 GHz ルビー・メーザの 77°K におけるものである。

測定された量は、ポンプ・エネルギーの関数としての発振エネルギー、増幅利得、信号パルスとポンプ・パルスとの相対的位置である。

計算結果と実験結果とを比較すると、両者はよく対応しているが、細かい点において若干の不一致が見られる。

(a) 計算で得られた発振パルス波形は、鋭いスパイクの密集であるが、観測された発振パルスは、滑らかな波形に小さい減衰振動が重なったものである。

(b) 発振開始時刻は計算値とほぼ一致しているが、発振パルス幅は計算値より長い。又発振パルスの位置は、計算によれば、ポンプ・エネルギーの増大と共に原点（ポンプ・パルスの開始時刻）に向って移動するが、実験的にはほとんど一定である。

(c) 理論的には、与えられたポンプ周波数と信号周波数とに対して、外部磁場、磁場と結晶軸との間の角 (θ) がある特定の値をとる時のみ、メーザ作用が起こることになるが、実験では、 θ のかなり広い値の範囲にわたってメーザ作用が観測された。しかしながら、上に見られる不一致は、実験上の次の事情によるものと理解される。すなわち、ポンピングに使用されたレーザ光は、理論で仮定された様な完全単色光ではなく、いくつかのモードから成り立っていること。各モードの周波数は時間的にドリフトし得ること。メーザ・ルビーのポンプ遷移は、数 GHz 程度の幅を持っていること、等である。

参考論文その 1—3 は、パルス変調されたポンプ波によるルビー・メーザの発振の立上りのポンプ波に対する遅れの実験的研究で、その測定結果は、スピン格子緩和時間の温度変化と rate equations とによって定性的に説明されることを示したものである。

その 4 は、ルビー内で共鳴輻射の拡散が観測されること、並びにその結果は、Milne の理論を拡張した方程式で説明されることを示したものである。

論文審査の結果の要旨

三準位メーザには、信号周波数 f_s より高いポンプ周波数 f_p を加えなければならないことが大きな困難を伴うのである。 f_p を光領域に選んだ場合、スペクトル幅の十分にせまくて十分強力な光源を得ることは、レーザの出現によって初めて可能になった。1962年、Devor 等が、ルビー・レーザ光でポンピングしたルビー・メーザの 24 GHz での増幅・発振を実験して以来、未だ定量的な観測・解析は、報告されていない。主論文は、ルビー・レーザ光でポンピングされたルビー・メーザの 24 GHz , 77°K での動作に関する定量的な実験的研究とその理論解析である。

レーザ・ポンプ・メーザの振舞を記述するために、原子系に対する密度行列方程式と電磁波に対する Maxwell 方程式とを採用し、両方を組合わせ、最終的には、信号周波数を与える二つの準位の分布数と信号電磁波の電力とに対する連立非線型微分方程式を導いた。

この方程式の定常解は、信号周波数 f_s に対し $f_s > f_{\max}$ ならば、メーザは実現不可能となる $f_{\max}$ の存在することを示した。 77°K でルビーに対して、 $f_{\max} \cong 9 \text{ GHz}$ となる。

又、数値解（非定常解）はポンピングが、パルスの形で与えられるならば、 $f_s > f_{\max}$ の f_s に対してもメーザ作用が行なわれることを明らかにした。この過渡現象は、申請者のパルス・レーザにより、ポンピングされたメーザの 24 GHz , 77°K での実験の可能性を説明している。申請者の実験が液体ヘリウムの 4.2°K でなく液体窒素の 77°K で行なわれているが、 77°K でのメーザは、従来あまり報告されていない

ので、この点からも申請者の実験は興味のあるものである。

申請者の発振エネルギー、増幅利得、発振パルスとポンプ・パルスとの相対的位置に関する観測結果は、計算結果とよく対応しているが、なお、若干の不一致が見られる。しかしながら、この程度の不一致は、レーザ光が理論に仮定されている如くに完全単色光でなく、いくつかのモードから成り立ち、各モードの周波数は、時間的にドリフトし得ること、およびポンプ遷移が数 GH_z 程度の幅を持っていること等を考慮すれば当然である。

参考論文は、ルビー・メーザの過渡現象並びに、ルビー内の共鳴輻射の拡散の観測と解析である。

これを要するに、申請者の論文は、レーザ光で、ポンピングされたメーザの動作に関する初めての定量的研究で、定常状態および非定常状態のメーザ作用の機構を明らかにしたもので、量子エレクトロニクスの分野に重要な寄与を与えたものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。