レーザーエコー

ネオジウム・ガラスによって極短レーザーパルスを増幅するときのエネルギーおよびエネルギー密度の限界機構について*

P. G. Kryukov, Yu. A. Matveets, Yu. V. Senatsky, A. I. Fedosimov,
S. V. Chekalin and O. B. Shatberashvili

Kvantovaya Elektronika No. 2 (14) 102—105頁 (1973)

ナノ秒あるいはさらに短いパルス幅を持つネオジウム・ガラス・レーザーの出力エネルギーはレーザー光線とレーザー光学媒質との非線形相互作用によって制限される。あるエネルギー密度に達すると非線形相互作用により、媒質の破壊が生じたり、レーザー光束の境界を越えて、散乱が起ったりする〔1—3〕。この論文は文献〔2, 3〕で始めた研究の延長である。すなわち極短レーザー光パルスがネオジウム・ガラス内を通過して増幅を受けるとき、出力エネルギーおよびエネルギー密度の限界がどのような機構にもとづくのかを解明することである。

増幅器内を小さな発散角 ($\sim 10^{-4}$ rad) でレーザー光が伝搬するとき、 10^{-11} — 10^{-10} sec のパルス幅を持つレーザー出力エネルギーおよびエネルギー密度の制限機構はレーザー光の自己収束 (self focus) が中心である。これは既に文献〔3〕で述べた。この場合に自己収束により活性媒質の容積内で糸状の破壊が生じ、活性媒質の切断表面で多数のマイクロ破壊が起る。この結果として、散乱されたレーザー光によるハレーションがレーザー媒質の出力側で生じレーザー光束エネルギーのかなりの部分がこのために失われることになる。この場合に増幅器の出口でレーザー光エネルギー密度は $\sim 1 \text{ J/cm}^2$ のレベルに制限される〔3〕。

自己収束に関連した非線形損失を減少させる

ために、増幅のときに平行に近い光束の代りに発散光束を用いることにした〔4, 5〕。この発散光束に対して、自己収束の臨界エネルギー密度は増加するに違いない。発散光束を用いて自己収束を抑圧する効果は筆者らにより文献〔6〕で予備データとして公表されている。

1. レーザー発振器 2. KDP結晶 3, 6. レンズ
4. 増幅器 5, 8. 熱量計 7. エネルギー角度分布測定器 9. 分光写真器

第1図 レーザー発散光束に対する極短レーザー光増幅の実験装置図

実験装置を第1図に示す。発振器からのレーザー光 (パルス幅 10^{-11} sec) をレンズ3により発散角 $\sim 10^{-2}$ rad. の光束にした。増幅器は GLS-1 のガラスを4台並べた。おのおのの直径は20, 30, 45, 45mmφで長さは650mmである。断面は軸に対して 85° の角度で切断した〔7〕。この切断面はブリュースタ切断面とは異なり増幅

第2図 増幅器の出力側におけるレーザー光強度の角度分布 (far field)

器出口でのレーザー光束の非点収差 (astigmatism) を減少させる (レーザー光強度の角度分布をこの研究および文献〔6〕に基づいて第2図に示す)。レンズ6は増幅器の出力側で、レーザー発散光を補償するためのものである。増幅されたレーザー光の一部はレーザー・エネルギーの角度分布などを測定するためビーム・スプリッターで取り出した。Far field の場合のエネルギー角度分布はカメラでフィルム I-1070 上に撮影することと熱量計 8 により (角度に対し離散的に) 測定した。増幅器の出口での (near field) 全出力エネルギーは熱量計 5 で測定した。これ以外に増幅器の入出力レーザー光を KDP 結晶で第2高調波に変換し回折格子分光写真器 9 で撮影した。

実験結果は以下のごとくである。 10^{-11}sec のパルス幅の発散レーザー光束に対し出力エネルギー密度を $3-4\text{ J/cm}^2$ まで高めることができた。この場合に自己収束に関連した媒質内部の糸状破壊と表面のマイクロ破壊は存在しなかった。それと同時にに行ったレーザー出力光強度の角度分布の測定によると、増幅器からの全出力エネルギー (60 J) の $1/5$ を越えないエネルギーが 10^{-3} rad. の角度に含まれ残りが著しく大きな角度に散乱されることが明らかになった (第2図のレーザー光強度の角度分布を参照せよ)。

増幅器の入力側に比べて出力側でのレーザー光スペクトルは非常に広がった (第3図)。 $\sim 10^{-3}\text{ rad.}$ の角度内のレーザー光に対しては、第2高調波では $300\text{ \AA}$ (基本波で $600\text{ \AA}$) の広がり幅を持った。KDP 結晶内の方向分散性の

ために中心周波数から離れた周波数においては第2高調波への変換効率が低下する。このためレーザーの出力側の当初のスペクトル幅はもっと大きいと考えることができる。レーザー光散乱とスペクトル幅の広がり、測定と同時に、極短レーザー光のコントラスト値が入力値に比べて出力側で数桁 (10^3) 低下することを観測した〔4, 8〕。

得られた実験データから次の結論を導きえる。

第3図：増幅器の出力側のレーザー光エネルギーのスペクトル分布 (入力信号のスペクトル幅は $0.5\text{ \AA}$ より大きくない)。

活性媒質内の糸状破壊および表面のマイクロ破壊が存在しないことから発散光束の増幅では自己収束が抑圧されることが証明できた。しかし、実験が示すように、自己収束の抑圧にかかわらずレーザー出力の輝度 (小角度内にレーザー光を集中させること) を著しく上昇させることはできなかった。すなわちレーザー光束のエネルギーの大部分は散乱され、また、レーザー光スペクトルは線形増幅の限界以上に広がってしまい、これらがそれ以上のレーザー光エネルギー上昇を妨げたのである。レーザー光束を幾何学的に変形することにより自己収束を抑圧せしめたが屈折率への非線形効果は消えたわけでない。この非線形効果 Δn はよく知られているように非常に大きな光強度に対し媒質内で生じる ($\Delta n = n_2 E^2$, ここでガラスに対し $n_2 = 2 \times 10^{13}$ C. G. S. E. であり E はレーザー光束内の電界である)。非線形効果は単に自己収束だけでなく他のプロセスを生ぜしめる。筆者らの条件においては、多分、自己収束でなく非線形パラメ

トリック散乱がレーザー散乱光のハレーションの源にちがいない。これにより、レーザー散乱光の大きな周波数変動の観測値に説明をつけることができる(第3図)。レーザー光束の軸の部分のスペクトルの広がりには強められたレーザー光の自己変調と結びつけられよう。このようにして発散光束を用いて自己収束がなくなると、文献〔4, 5〕で推論したように、スペクトルの広がりとはレーザー光の散乱がネオジウム・ガラスでの極短レーザーのエネルギーおよびエネルギー密度の限界機構として考えることができる。

筆者らは S. A. Chyrllov, D. B. Vorontsov, および V. V. Lobko が実験の手助けを行ってくれたことに對し感謝する。

参 考 文 献

- 1) N. G. Basov, V. G. Zhev, P. G. Kryukov, V. S. Letokkov, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin: JETP **54**, No. 3, 767 (1968)
- 2) N. G. Basov, P. G. Kryukov, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin: JETP **57**, No. 4, 1175 (1969)
- 3) N. G. Basov, I. Kertes, P. G. Kryukov, Yu. A. Matveets, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin, JETP **60**, No. 2, 533 (1970)
- 4) P. G. Kryukov, Yu. V. Senatsky: Preprint PIAN No. 51 (1971)
- 5) Yu. V. Senatsky: Preprint PIAN No. 87: "Quantum Electronics" ed. by N. G. Basov No. 5, 109 (1971)
- 6) N. G. Basov, A. R. Zaritsky, S. D. Zakharov, P. G. Kryukov, Yu. A. Matveets, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin, A. I. Fedosimov "Quantum Electronics" ed. by N. G. Basov, No. 6(12), 50 (1972)
- 7) I. Kertes, E. A. Kononkov, P. G. Kryukov, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin: JETP **59**, No. 10, 1115 (1970)
- 8) N. E. Bykovsky, V. Kan, P. G. Kryukov, Yu. A. Matveets, N. L. Ni, Yu. V. Senatsky, S. V. Chekalin: "Quantum Electronics" ed. by N. G. Basov No. 7, 68 (1972)
- 9) M. A. Duguay, J. W. Hansen, S. L. Shapiro: IEEE J. Quantum Electronics QE-6, No. 11, 725 (1970)

カレンダー

1974.

6. 5~7

International Conference on
Submillimeter Waves and Their
Applications, Atlanta, Georg., USA

6. 10~13

VIII International Quantum Elec-
tronics Conference-1974, San
Fransisco, Calif., USA

6. 11~13

IEEE G-AP International Sym-
posium USNC/URSI Meeting,
Atlanta, George., USA

7.

電子通信学会全国大会, 北海道大学

8. 19~21

Conference on Optical Informa-

tion Processing, Sydney, Aus-
tralia

8. 26~30

Conference on Optical Methods
in Scientific and Industrial
Measurements, Takanawa Prince
Hotel. Tokyo, Japan

9. 3~6

1974 International Laser Radar
Conference, (Sixth Conference
on Laser Atmospheric Studies)
仙台, 仙台市民会館

11. 11~15

第5回 IAEA主催プラズマ物理および
制御熱核融合国際会議, 東京, 高輪プ
リンスホテル