

固体化色素レーザー

佐々木 敬介

これまでに色素レーザーは、多様な色素分子における励起・発光系特有の高い蛍光量子効率を基本とし、可視域を中心に広い同調波長範囲をもつ有用なレーザーとして独自の有用性を保持してきた。過飽和吸収色素との組合せによるモードロック作用、ブースター光増幅器との組合せによる大出力システムの構成なども、さらにその利用価値を高めるものである。このような色素レーザーは通常はほとんどの場合、それぞれの色素に適合する溶剤に溶かし液体レーザーとして用いられてきた。一方、当然のことながら、より精密な分子動力学や輻射場を介しての蛍光分子相互作用に関する取扱いを展開するアカデミックな興味、およびコンパクトで取り扱いやすい固体化色素レーザーに対する要請が湧き上がってきた。本稿ではこれらに關係する最近の話題を取り上げて概説する。

1. 固体化色素レーザーおよび固体化色素ドープ光増幅器

色素レーザーおよび色素ドープ光増幅器の固体化に關するこれまでの研究は、主に高分子およびゾルゲルガラスホスト材料を用いて行われてきた。これらを形態で分類すると、(1)板状・ロッド状バルク型、(2)薄膜光導波路型、(3)ファイバー型、(4)マイクロ球型となる。筆者らはこのうち薄膜導波路型およびファイバー型を中心に研究を展開してきた。

1.1 薄膜導波路型

ガラス円柱表面にローダミン6Gドープのポリウレタン導波路膜を形成し窒素レーザーで励起するリング共振器型固体化色素レーザーが報告¹⁾されている。この場合、色素濃度は 8×10^{-3} mol/l程度であり色素劣化は免れ得なかったと思われる。筆者らの実験ではコーニング7059ガラスのrfスパッタ膜シングルモード導波路を溶融石英基板上に作成し低屈折率のローダミン6Gドープウレタンをトップ層として試料とした。さらにトップ層

を図1のように切り出して対角線部分を窒素レーザーで励起し導波路型コーナー反射器付きリングレーザーを形成した。励起ビームの対角線近くでコーナー反射器の動作が図2からわかる²⁾。

ほかに薄膜導波路型固体化色素光結合増幅器³⁾と同様の薄膜導波路型円筒リングレーザーをクマリン色素で構成した例⁴⁾もある。この場合、発振スペクトルから最近注目されている光学領域でのウィスパリングギャラリー

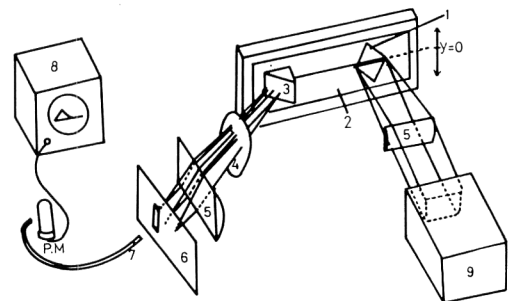


図1 コーナー反射器の実験系。(1)ウレタン導波路、(2)Corning 7059 スパッター導波層、(3)出力用プリズム、(4)アナライザー、(5)円筒レンズ、(6)アパーチャー、(7)ファイバー、(8)オシロスコープ、(9)窒素レーザー。

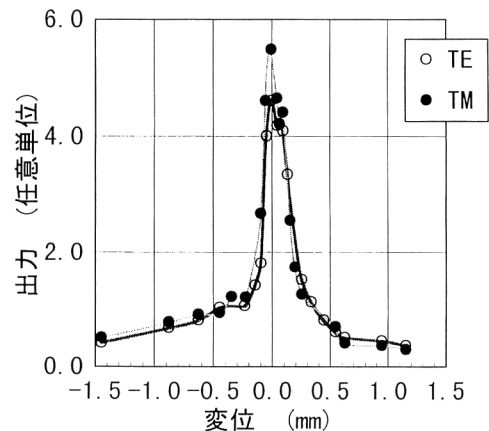


図2 コーナー反射器型色素レーザーの出力特性。

Solid state dye lasers (1996年5月9日受理)
Keisuke SASAKI 慶應義塾大学理工学部 (〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1)

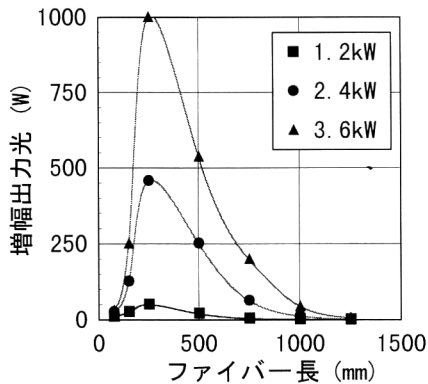


図3 Rhodamine Bドープ光ファイバー (色素ドープ濃度: 1 W) の光増幅特性. 入射信号光波長, 強度はそれぞれ 591 nm, 1 W. 入射励起光強度は 1.2 W, 2.4 W, 3.6 W. コア径は 1 mm.

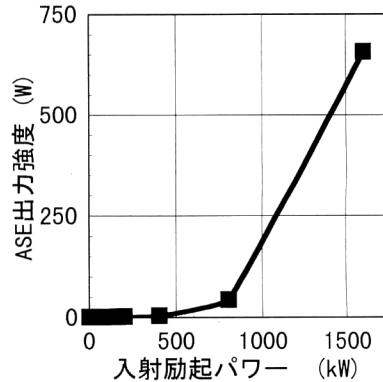


図4 Rhodamine 6Gドープ光ファイバーの ASE 特性の一例. 色素ドープ濃度は 5 ppm. コア径は 500 μ m. ファイバー長は 300 mm.

モード (whispering gallery mode: WGM)⁵⁾ が観測される。

1.2 ファイバー型

ファイバー構造はコア部分に活性領域を集めて増幅・発振現象を高効率で発現できる。ポリマー光ファイバーのステップインデックス (SI) 構造でコア部分に色素をドープした実験例⁶⁾ が報告されている。色素ドープ濃度は高いので劣化が著しいと思われる。最近になって屈折率分布型 (graded index: GI) ファイバーのコア部分にローダミン色素を ppm のオーダーでドープした素子を用いて YAG レーザーの第 2 高調波 532 nm で励起し、30 dB を超える利得を数十 cm のファイバー長で観測した結果を報告⁷⁻⁹⁾ した (図 3)。この場合はドープ濃度が ppm オーダーときわめて低く、褪色しにくいことが確認されている。またこの系の高い利得による増幅された自然放出 (amplified spontaneous emission: ASE) が観測できる¹⁰⁾ (図 4)。これらの結果は現在までのところパルス励起で観測されたものであるが、近い将来に連続光励起での動作が期待できる。

固体化色素レーザーおよび色素ドープ光増幅器の研究動向について概観した。混合色素ドープによる発振波長制御, 出力の最適化, デバイス寿命など実用的に興味ある課題から色素分子のホスト高分子による遮蔽効果, エネルギーの伝達素過程への影響, キレート構造による色素分子の機能化など本質的研究に関わる部分もあり, 今後の発展が期待される。

文 献

- 1) H. P. Weber and R. Ulrich: "A thin-film ring laser," *Appl. Phys. Lett.*, **19** (1971) 38-41.
- 2) K. Sasaki, T. Saito, M. Serizawa, S. Furukawa and O. Hamano: "Thin film waveguiding evanescent dye laser with a corner reflecting resonator," *Appl. Phys. Lett.*, **39** (1981) 300-301.
- 3) K. Sasaki, T. Fukao, T. Saito and O. Hamano: "Amplified oscillation in a slab-type optical directional coupler with an activated rhodamine 6G top layer," *Appl. Phys. Lett.*, **37** (1980) 129-130.
- 4) 富沢岳志, 渡辺杜周, 吉村香里, 石井勝三郎, 三戸慶一, 佐々木敬介: "リング構造をもつ固体化色素薄膜", 第 54 回応用物理学学会学術講演会予稿集, 28 A-sZV-4 (1993).
- 5) A. Kuwata-Gonokami, K. Takeda, H. Yasuda and K. Ema: "Laser emission from dye-doped polystyrene microsphere," *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.*, **31** (1992) L99-L101.
- 6) A. Tagaya, Y. Koike, T. Kinoshita, E. Nihei, T. Yamamoto and K. Sasaki: "Polymer optical fiber amplifier," *Appl. Phys. Lett.*, **63** (1993) 883-884.
- 7) A. Tagaya, Y. Koike, E. Nihei, S. Teramoto, T. Yamamoto and K. Sasaki: "Basic performance of an organic dye-doped polymer optical fiber amplifier," *Appl. Opt.*, **34** (1995) 988-992.
- 8) 多加谷明広, 小池康博, 佐々木敬介: "プラスチック光ファイバー増幅器", *応用物理*, **64** (1995) 32-35.
- 9) A. Tagaya, S. Teramoto, T. Yamamoto, K. Fujii, E. Nihei, Y. Koike and K. Sasaki: "Theoretical and experimental investigation of rhodamine B-doped polymer optical fiber amplifier," *IEEE J. Quantum Electron.*, **31** (1995) 2215-2220.
- 10) 南谷晴之, 山本 剛, 飯野 徹, 佐々木敬介, 小池康博: "診断用光感受性物質へのドーププラスチック光ファイバーの応用の可能性", *応用物理*, **65** (1996) 36-40.