

広帯域可変波長レーザー光源の開発

Development of a Widely-Tunable Laser System

高橋昭彦, 岡田龍雄*, 山本秀夫*, 前田三男*

村岡克紀**, 赤崎正則**

(A. Takahashi, T. Okada*, H. Yamamoto*, M. Maeda*,

K. Muraoka**, M. Akazaki**)

福岡大学工学部, *九大工学部, **九大総理工

(Fukuoka University, *,** Kyushu University)

SYNOPSIS: A tunable coherent source over a wide spectral range from XUV to IR is under construction. The system is based on the nonlinear frequency conversion techniques of dye-laser radiation. The key technologies are the Raman conversion, the resonant four-wave mixing, and the development of a GW-class picosecond dye laser.

§ 1. まえがき

現在各種の分光計測に広く使われている色素レーザーの同調域は, Nd:YAGやXeClレーザーを励起源とする高出力色素レーザーでは, SHGやラマンシフターを併用すれば波長約200nmの近紫外域から, 数 μm の近赤外域まで連続的にカバーできるようになっている。真空紫外域での可変波長光源も最近急速に研究が進み, 約70nmから上の波長では小さな変換効率ながら, ガス中での共鳴四波混合法によってほぼ連続的に同調できることが示された。本研究の目的は色素レーザーの非線形周波数変換によりできるだけ広い波長域をカバーする可変波長光源を開発することであるが, その際最も大きな関心は, まだ未開拓である70nm以下の短波長域に拡張する点にある。

図1は現在開発しているシステムの概念的なブロック図である。このシステムを実現するために解決しなければならない問題点が三つある。一つは水素ガスを用いたストークス・反ストークス誘導ラマンにより120nmから数 μm にかけて同調可能な光源の実現であり, 二番目はその反ストークスVUV光と色素レーザー光との共鳴四波混合によるXUV光の発生であり, 三番目はそれらの非線形周波数変換を高い効率で実現するための, 短パルス高出力色素レーザーの開発である。それぞれの項目についてこれまでに予備的な実験を行ってきたので, それについて報告する。

§ 2. 水素ラマンレーザー

水素分子の振動遷移における誘導ラマンを用いた周波数変換は特に低次のストークス線では50%を越える高い効率を得られている。反ストークス線は, 結晶による非線形周波数上昇変換ができなくなるVUV域では, ガス媒体を用いた他の変換法より効率が良く, 実験も簡単であり, 実用性が高い。さらに各ストークス・反ストークス線をつなぎ合わせると, 色素レーザーを比較的狭い波長域(たとえば340~400nm)で同調すると, VUVからIRまで連続的に同調可能な光源が得られる点も分光光源として有用である。

しかし, 特にVUV域まで高次の反スト

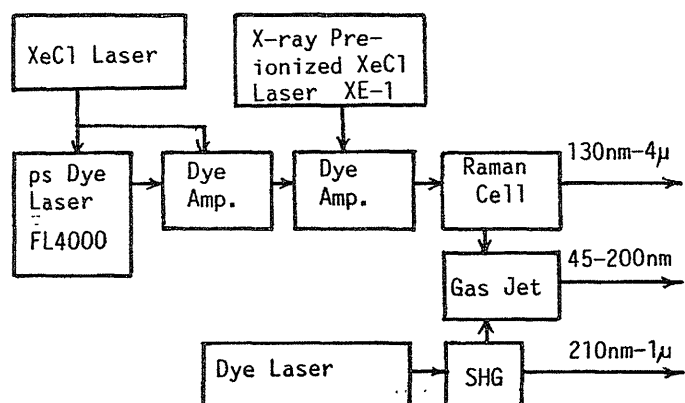


図1 開発中の広帯域可変波長レーザーのブロック図

ークス線が発生させるには、ポンプ光に大きな尖頭出力が要求される。また、ピコ秒オーダまで短パルス化することによって尖頭出力を高めた場合、パルス幅が水素の緩和時間に近づくと過渡現象の影響が懸念される。

図2はパルス幅30ps, 出力0.4GWのKrFレーザー光を長さ1mの水素ラマンセルに入射したとき、前方より得られた高次反ストークスラマン線の圧力特性である。¹⁾ 最高9次(波長128.8nm)まで発生した。パルス幅がポンプ波と変わらないとすれば、例えば6次(153.4nm)反ストークス線は60kW, 9次でも8kWが得られている。これはこれまで行なわれてきたナノ秒域での実験に比べると若干効率が悪いが、VUV域では大きなパワーである。しかし、120nm台までのVUV光を得るにはピコ秒域では100MWオーダの出力が要求される。

§ 3. 二光子共鳴四波混合

共鳴四波混合はVUV~XUV域の可変波長光を得るのに最も広く用いられている。共鳴効果を利用するために10kWオーダの色素レーザーでも容易にVUV光が得られる。BBO結晶を使った色素レーザーのSHGで約200nmまで10kWオーダの出力が得られるようになったため、最近希ガス中での四波混合で約70nm域までの可変波長光源が実用段階にはいった。²⁾ しかしそれ以下は色素レーザーのSHGでは二光子共鳴波長に届かないため、まだ実現していない。我々は可変波長ArFレーザーやその反ストークス線がKrやArの二光子共鳴線に合致していることを利用して、さらに短波長へ拡張できることを提案し、³⁾ Kr中での共鳴THGの実験を行ってきた。最近水素分子のE, F準位の二光子共鳴を使えば、図3に示したようにさらに効率よくArFレーザーの共鳴THG(64nm)が得られることがわかった。これに色素レーザー光を和混合すれば60nmオーダの可変波長光が得られることになる。

しかしこの方法ではエキシマーレーザーの狭い同調域に二光子共鳴波長がたまたま合致する媒体をさがしてこなくてはならず、一般性がない。それに対し、上述のピコ秒色素レーザー励起の反ストークスラマンレーザーは130nm程度まで10kWオーダの出力が期待できるので、これを利用すると45nmの極端紫外域まで同調可能な光源が得られる。

§ 4. ピコ秒高出力色素レーザー

図1のシステムにおいて、上述のように70nm以下の可変波長光源を実現するために、短パルスでGW級の色素レーザーを開発している。短パルスの発生はモード同期法によらず、二重キャビティを用いたトランジェント法である。発振段はラムダ社のFL4000に基づくもので、波長490nm付近で、出力1mJ, パルス幅40psが得られた。これを増幅して、1GW以上の尖頭出力をめざしている。最終段の色素レーザー増幅器の励起用に、X線予備電離の70×70mm開口のXeClレーザーを開発している。

1) A. Takahashi et al.: J. J. A. P. Lett. 28(1989)252, 2) G. Hilker et al.: J. Opt. Soc. Am. B-4(1987)1753, 3) M. Maeda et al.: Proc. Int. Symp. Short-Wavelength Lasers(1987)345

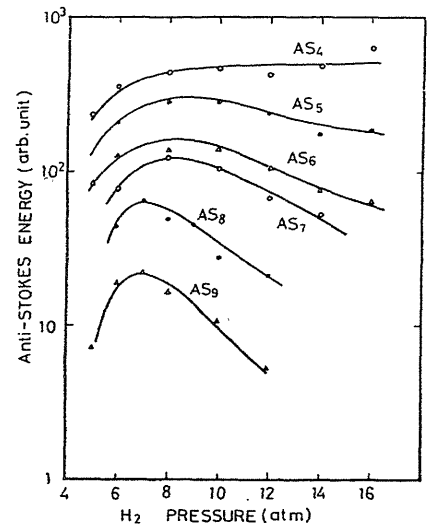


図2 ピコ秒KrFレーザーによるH₂中での反ストークスラマン光の発生

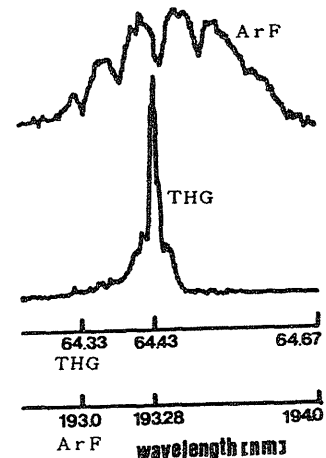


図3 H₂ジェット中でのArFレーザーの共鳴第三高調波発生。
上はArFレーザーの同調曲線