

宮崎健創、扶間寿文、山田家和勝、酒井広文、佐藤卓哉

Kenzo Miyazaki Toshifumi Hasama, Kawakatsu Yamada, Hirofumi Sakai and Takuzo Satc

電子技術総合研究所

Electrotechnical Laboratory

Several discharge-pumped excimer lasers which constitute a short-pulse excimer laser amplification system have been developed for XUV laser research. These are a compact oscillator generating ns pulses, some automatically-preionized devices and a high-power X-ray preionized laser device with an output energy of 50 J in 85ns pulses. The coherent VUV/XUV generation systems have also been developed using excimer laser pumped dye lasers, which can produce coherent radiation in a wavelength region of 70-200nm by two-photon resonant four wave mixing.

1. はじめに

放電励起エキシマレーザの出現以来、その進歩は著しく、最近では様々な実用的な装置が開発され、エレクトロニクス、加工、光化学、計測等の多くの科学技術分野で利用されるようになってきた。一方、エキシマレーザを励起源とする新レーザの研究が注目されつつある。エキシマレーザの持つ紫外・高出力、高効率短パルス増幅といった優れた機能を利用して、レーザ技術にとって未踏のスペクトル領域である極端紫外 (XUV)、さらにはX線領域におけるレーザ技術を開発しようとするものである[1]。筆者等は、高性能な放電励起エキシマレーザ技術、ならびにそれを利用したXUVレーザ励起用短パルスエキシマレーザ増幅システムの開発、及びエキシマレーザ励起色素レーザを基本波とする4光波混合を用いた連続波長可変コヒーレントVUV/XUV光源技術の開発を進めている[2]～[8]。Fig.1は、この極短波長レーザ技術開発のためのシステム構成である。ここでは、極端紫外レーザ励起用短パルスエキシマレーザ増幅システムの開発を当面の課題とし、そのために試作開発した大口径放電エキシマレーザ増幅装置についてその概要を述べるとともに、エキシマレーザ励起色素レーザを基本波とする波長可変コヒーレントVUV/XUV光源技術の開発について報告する。

2. 大口径放電励起エキシマレーザ増幅装置

大断面積エキシマレーザビームを得るための大出力放電励起エキシマレーザの開発、ならびに短パルスエキシマレーザ増幅システムの最終段増幅器の開発を目的として、大口径X線予備電離放電エキシマレーザ装置を試作した[5]。Fig.2に、その装置構成を示す。予備電離用X線は、冷陰極電子ビームをタンタル箔に照射することによって発生する。発生したX線は、厚さ1mmのAl窓を通してレーザ放電管に導かれる。レーザ電極は、幅170mm、長さ1200mmの高電圧電極と厚さ1mmのAl平面電極によって構成した。レーザ励起回路は、10段マルクス電源、パルス整形線路(PFL)、レールギャップスイッチ(RGS)、及びパルス伝送線路(PTL)によって構成されている。PFL及びPTLのための誘電体として水を用いており、PFLの容量、特性インピーダンス、及び電圧パルス往復時間は、それぞれ52nF、0.87Ω、及び90nsである。また、PTLの電圧パルス伝送時間は45nsである。PTLは、PFLを構成する3枚の平板の間隔をRGSから放電管に向かって次第に狭めることによりインピーダンス変換されている。この装置で得られた最大の放電体積は $100 \times 100 \times 1100 \text{ mm}^3$ であった。Fig.3に本装置をXeClレーザとして動作させたときの充電電圧(V_{PFL})に対するレーザ出力、及び電気効率を示す。レーザガスは、HCl/Xe/Ne-4/20/4476 Torrである。PTLのインピーダンス変換の効果を調べるため、 $0.87 \Omega \rightarrow 0.48 \Omega$ 、及び $0.87 \Omega \rightarrow 0.26 \Omega$ へ変換されたPTLを用いて実験を行った。Fig.3に示したように、 0.26Ω へ変換されたPTLを用いたときの出力は、 0.48Ω へ変換されたPTLを用いたときの出力に比べて、 $V_{\text{PFL}} = 148 \text{ kV}$ のときを除いて13～15%増加した。最大の効率は、 $V_{\text{PFL}} = 148 \text{ kV}$ の時で3.1% (出力: 17.6J)であった。このまた、最大出力は $V_{\text{PFL}} = 400 \text{ kV}$ の時50J (パルス幅: 85ns, レーザパルス尖頭値: 0.6GW)である。

3. 波長可変コヒーレントVUV光源

共鳴4光波混合を利用し、波長200nm から50nmのVUV域で連続的に波長可変とできる技術の開発を当面の課題にしている。基本波としてXeClレーザー励起色素レーザー、非線形媒質としてヒートパイプオープン中で生成した金属蒸気、及び希ガスの超音速ビームを利用している。LiF結晶の透過限界(約105nm)より長波長域では、非線形媒質として金属蒸気を利用する。Cdを用いた場合、 6^1S_0 、 5^1D_2 を2光子共鳴準位として115~150nmの範囲で波長可変VUV光発生が可能であった。VUV光の最大出力は約200W、最大変換効率は約0.1%、VUV光出力のスペクトルの幅(FWHM)は0.001nm以下であり、高輝度高分解能の優れた特性を備えている[6]。

XUV領域におけるコヒーレント光の発生では、Kr、及びXeを非線形媒質として利用している。超音速ビームは、直径1mmのノズルから基本波用レーザーと同期してパルス的に供給される。Fig. 4にXeとKrでの4光波混合過程を示す。2光子共鳴に必要な基本波は、BBO結晶[7]による色素レーザーの第2高調波(10~20kW)であり、共鳴波長は216.7nmである。Krで72.2nmまでのコヒーレントXUV光の発生を実現している[8]。

参 考 文 献

- [1] 宮崎、佐藤：電気学会雑誌 105,525(1985)；電総研イ報 49,469(1985)。
- [2] K.Yamada, K.Miyazaki and T.Sato: To be published in IEEE J. Quantum Electron.
- [3] K.Miyazaki, Y.Toda, T.Hasama and T.Sato: Rev. Sci. Instrum. 56 201(1985), K.Miyazaki, T.Hasama, K.Ymada, T.Fakatsu T.Eura and T.Sato: J. Appl. Phys. 60, 2721(1986).
- [4] 深津、山下、宮崎、挾間、山田、佐藤、金子、木本、：昭和61年度春季応物学会 2a-L5(1986).
- [5] T.Hasama, K.Miyazaki, K.Yamada, K.Ohuchi and T.Sato: J. Appl. Phys. 61, 4691(1987).
- [6] K.Miyazaki, H.Sakai and T.Sato: Opt. Lett. 9, 457(1984)；K.Miyazaki, H.Sakai and T.Sato: IEEE J. Quantum Electron. QE-22, 2266 (1986).
- [7] K.Miyazaki, H.Sakai and T.Sato: Opt. Lett. 11, 797(1986).
- [8] 酒井、宮崎、佐藤：昭和62年度秋季応物学会 17p-ZC-3(1987).

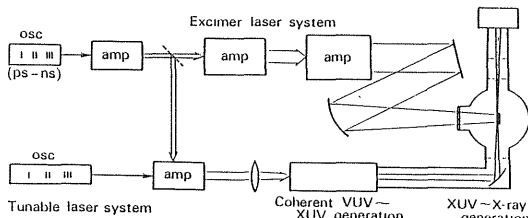


Fig.1 Schematic diagram of an excimer laser amplification system and a coherent VUV/XUV generation system for short-wavelength laser research.

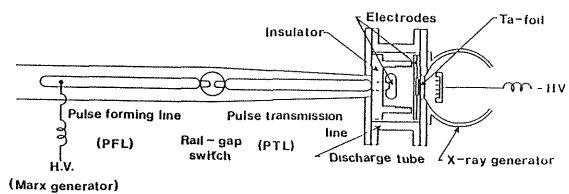


Fig.2 Schematic diagram of the X-ray preionized discharge pumped excimer laser.

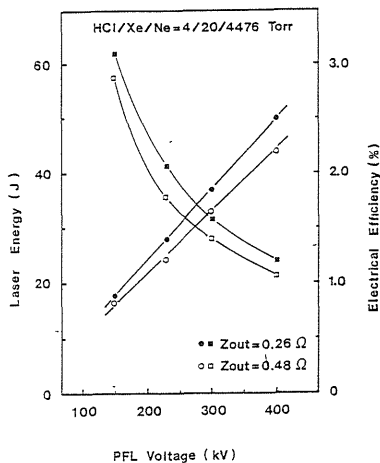


Fig.3 Laser output energy and electrical efficiency as a function of PFL voltage.

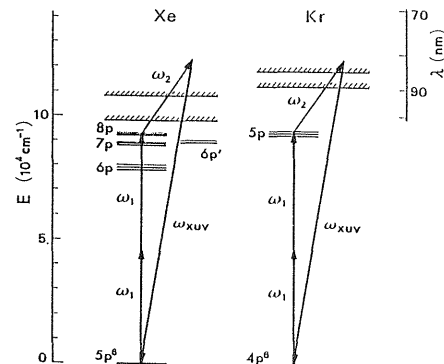


Fig.4 Simplified energy level diagrams of Xe and Kr showing the coherent XUV generation processes by two-photon resonant four wave mixing.