コンファレンスレポート

42回気体電子工学会議報告

——Ar/Xe レーザーを中心に——

小 松 勝 彦*

Report on the 42nd Annual Gaseous Electronics Conference

——Focussing on Topics of Ar/Xe Lasers——

Katsuhiko KOMATSU*

今回で42回目を数える気体電子工学会議(GEC)は、サンフランシスコより南へ約50 km, スタンフォード大学の近くにあるパロアルトのハイアットリッキーホテルで1989年10月17日より20日迄の4日間開催された。おりしも初日にサンフランシスコ大地震があり、参加者が会場の外の中庭に逃げ出すというハプニングがあったが、会議は当日の夕刻からのポスターセッションが停電のため2日目に変更されただけで滞りなく行われた。第2日目には今回の事務局であるSRIへの見学ツアーとバンケットがあり、“Welcome to Great Earthquake Conference”といったジョークで迎えられた。

本会議はプラズマプロセッシング等の各種放電を中心とした気体電子工学の会議で、アメリカを中心にカナダ、フランス、西ドイツ、オーストラリア、日本などから約300人集まった。会議はTable Iに示すように毎朝8時より夕刻、ときには夜遅く迄プログラムが組まれていた。レーザーのセッションは2つあり、Lashe Phenomenaのセッションに7件、特別セッションのAr/Xe Lasersには12件の講演があった。以下筆者がおもに参加したAr/Xe Lasers

のセッションでの講演を紹介する。

Ar/Xe Laserは、主にXeの励起準位 $5d-6p$ 間の遷移を用いるレーザーで、その主な発振波長は1.73, 2.03, 2.63, 2.65 μm であり波長選択をしないと多波長同時発振をする。1985年のBasov等による出力60J, 効率3.5%の報告¹⁾が有名であり、バッファガス、圧力、入力密度等によりその遷移波長及び各波長出力の分配比が変化する特徴を有している。今回の会議でもその発振メカニズムの解明を意図した実験が数多く見られた。励起方法別には、電子ビーム、電子ビーム制御放電、UV並びにX線予備電離放電、及び核励起などが報告された。

電子ビームを用いた励起実験では3件の報告があった。米国NRLのSuda等はさきに電子ビーム励起で出力1.7 J/l, 効率2.3%を報告²⁾しているが、今回の会議では電子ビーム制御放電励起で出力3.5 J/l, 内部効率3.2%をWexlerが報告した。このとき出力の90%は1.73 μm であった。レーザー出力を波長別に観測すると1.73, 2.63 μm は励起パルス幅全般にわたって発振するが、2.03 μm は励起パルスの前縁部に、2.65 μm は前縁部と励起パルス終了後に発

* 慶應義塾大学理工学部電気工学科 (〒223 横浜市港北区日吉3-14-1)

* Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University.
(3-14-1, Hiyoshi, Kohoku, Yokohama, 223)

Table I Sessions of 42nd annual gaseous electronics conference.

OCTOBER 17-20, 1989

HYATT RICKEYS HOTEL
PALO ALTO, CALIFORNIA

Tuesday October 17		Wednesday October 18		Thursday October 19		Friday October 20	
A 8:00 - 9:41 DIAGNOSTICS OF PROCESSING DISCHARGES ROOMS C AND D		FA 8:00 - 9:25 IONIZATION ROOM C	FB 8:00 - 9:31 LASER PHENOMENA ROOM D	KA 8:00 - 9:39 Ar/Xe LASERS I ROOM C	KB 8:00 - 9:43 BREAKDOWN AND SWITCHING ROOM D	QA 8:00 - 9:39 SINGLE WAFER PLASMA PROCESSING ROOM C	QB 8:00 - 9:30 COLLISIONS BETWEEN ATOMS, MOLECULES, AND IONS ROOM D
Coffee 9:41 - 10:00		Coffee 9:31 - 10:00		Coffee 9:43 - 10:10		Coffee 9:39 - 10:00	
BA 10:00 - 11:55 HYDROCARBON PLASMAS ROOMS C AND D	BB 10:00 - 11:04 KINETIC MODELS ROOM B	GA 10:00 - 11:31 ARCS AND GLOWS ROOM C	GB 10:00 - 11:07 ELECTRON AND HEAVY PARTICLE COLLISIONS ROOM D	LA 10:10 - 11:50 Ar/Xe LASERS II ROOM C	LB 10:10 - 12:04 CROSS SECTION DATA I ROOM D	RA 10:00 - 11:44 RF DISCHARGES: MODELS AND EXPERIMENTS ROOM C	RB 10:00 - 11:43 OPTICAL DIAGNOSTICS ROOM D
	BC 11:04 - 12:08 ELECTRON DIFFUSION ROOM B	H 11:30 - 12:00 BUSINESS MEETING ROOM D					
	Lunch 12:08 - 1:30		Lunch 12:00 - 1:30				
CA 1:30 - 3:18 PLASMA PROCESSING ROOM C	CB 1:30 - 3:28 HEAVY PARTICLE COLLISIONS ROOM D	J 1:30 - 3:30 POSTERS ROOMS A AND B		MA 1:30 - 3:18 FUNDAMENTAL DATA FROM PLASMAS ROOM C	MB 1:30 - 3:25 CROSS SECTION DATA II ROOM D		
Coffee 3:28 - 3:45		4:15 SRI LABORATORY TOUR 6:00 SOCIAL HOUR 7:00 BANQUET SRI INTERNATIONAL		Coffee 3:18 - 3:45			
D 3:45 - 5:30 WORKSHOP ON PLASMA PROCESSING REFERENCE REACTOR ROOMS C AND D				NA 3:30 - 5:30 POSTERS ROOMS A AND B	NB 3:45 - 5:16 NOVEL PLASMAS ROOM D		
Dinner 5:30 - 7:30				Dinner 5:30 - 7:30			
E 7:30 - 10:00 POSTERS ROOMS A AND B				P 7:30 - 10:00 WORKSHOP ON CROSS SECTIONS I WISH I KNEW ROOMS C AND D			

振し強いライン競合が観測されている。また波長選択キャビティを用い、Ar:3010, Xe:30.4 TorrにHeを添加していくと、 $1.73\ \mu\text{m}$ の出力は減少し、 $2.03\ \mu\text{m}$ の発振が強くなると報告している。同様の添加ガスの効果をKr, Neについても得ているが、Krでは $2.63\ \mu\text{m}$ が優勢になっている。米国Avco社は、 $50 \times 65 \times 300\ \text{cm}^3$ のキャビティにAr:Xe=50:1, 35 psiaを封入し両側面から電子ビームで励起し、650 Jの大出力を得ている。効率が0.53%と低いのは媒質の均一な励起がなされていないのが原因であろうという報告であった。またレーザーパルスは励起パルスから250 ns遅れ、励起パルス終了後引き続く事から、長寿命のリザーバー的な励起原子あるいは分子の存在と低いエネルギーでの励起プロセスの存在を予測していた。米国サンディア国立研究所のPatterson等はλ打ち込み、入力密度 $0.24 \sim 1.00\ \text{kW/cm}^2$ 、励起パルス幅1 msの電子ビーム装置を用い、ゼーマンシフト

により $1.73\ \mu\text{m}$ のゲインが20%低下したと報告した。

自己持続放電励起では、放電を維持するための入力密度の下限が大体決まってしまう、入力密度を幅広くパラメーターとして振ることはできない。また励起中に刻々と入力密度が変化し、基礎的なデータの取得という点では劣る。しかし高繰り返し化などの実用化という観点では優位なため、3件の報告があった。米国NRLからはX線予備電離を用いた実験の報告があった。彼らは先にAr/Xe, 4気圧の放電実験に成功しているが³⁾、今回は新しいレーザーヘッド($40^1 \times 5^h \times 2^w\ \text{cm}^3$)を用い1%:Xe, 3 atm:Arより0.4 J, 1 J/ℓを得ている。またレーザーガスに0.1%:Xe, 1 atm:Arを用いパルス幅5 μsのロングパルス化に成功している。効率はSpikerを取り付ける事により1%が達成されている。慶応大、小松等はUV予備電離放電励起でマルチライン発振を行いレーザー出力を時

間分光した。それによると2.63, 2.65 μm が励起中発振し続けるのに対し, 1.73 μm は比較的励起密度の高いところで発振し励起が終わる前に発振を止める事を示した。また He/Xe 混合ガスの He を Ar に徐々に置換し出力とスペクトルの変化を調べている。一般に主に 2.03 μm で発振する He バッファよりも主に 1.73 μm で発振する Ar バッファの方が出力は大きい, Ar 80% 以上で 2.03 μm が減少し代わって 1.73 μm が増大しこれにより出力が大きくなる事が示され, この発振波長の変化はバッファガスによるレーザー下準位の緩和過程の違いであろうと報告した。米国 EG & G 社は, 励起パルス幅 20ns の UV 予備電離放電管を用い各発振波長のレーザー波形を示した。1.73, 2.03, 2.63, 2.65 μm の各ラインは励起パルスと共に発振し, さらに 2.03 μm 以外の3ラインは励起パルス終了後, 100 ns 程度後にも発振パルスが観測された。これは電子による直接励起による発振と種々の励起原子からの緩和過程で発振するものと解釈していた。

電気入力が必要としない核励起 Xe レーザーの研究はサンディア国立研究所で行われている⁴⁾。今回の会議では Hays 等の講演があった。講演の最初に Xe レーザー・パワースケーリングと題してサンディア, S R L, N R L の電子ビーム及び核励起のデータをまとめていた。それによると入力密度: Q が $10^0 \sim 10^5 \text{ W/cm}^3$ の範囲で $G_0 I_{\text{sat}} = 0.05 \times Q^{0.95} \text{ [W/cm}^3]$ となる傾向が示された。彼らの装置は低励起密度 ($< \text{kW}$), 長パルス ($> \text{ms}$) が特徴であるが, Ar/Xe ガスに He を添加すると 1.73 μm は出力されなくなるが, 2.03 μm が強く発振するようになり出力も向上する事が報告された。

米国イリノイ大学の Kushner は招待講演の中で, Xe レーザーのキネティクスについて計算機モデルの立場から説明を加えた。また, 同大の Ohwa はそのモデルを用い, He の添加効果, 入力密度に対するレーザー特性を計算し報告している。また, サンディアの Alford は, レーザー下準位である $6p [5/2]_2, [3/2]_1$ の失活レートを求め, 発振ラインの競合過程を説明した。

Laser Phenomena のセッションでは, ホローカソードを用いたアフターグロー放電中での Ar I, Pb I, Zn I, Pb II 再結合レーザーにおける H_2 の添加効果がコロラド大より報告された。また前述の Kushner は電子ビーム打ち込みによるリターン電流の効果と, 放電 KrF レーザーの発振停止のメカニズムを, それぞれ計算機シミュレーションにより説明した。

以上 Ar/Xe レーザーを中心に述べてきたが, 今回 Ar/Xe レーザーだけのセッションが開かれ, 常時50人の聴衆を集めた事は, このレーザーに対する関心が高まってきた事と考えている。

参 考 文 献

- 1) N. G. Basov, V. V. Baranov, A. Y. Chugunov, V. A. Danilychev, A. Y. Dudin, I. V. Kholin, N. N. Vstinovskii and D. A. Zaynyi: IEEE J. Quantum Electron., QE-21 (1985) 1756.
- 2) A. Suda, B. L. Wexler, B. J. Feldman and K. J. Riley: Appl. Phys. Lett., 54 (1989) 1305.
- 3) J. E. Tucker, B. L. Wexler, B. J. Feldman and T. MacClelland: IEEE Phot. Tech. Lett., 1 (1989) 193.
- 4) W. J. Alford and G. N. Hays: J. Appl. Phys. 65 (1989) 3760.