コンファレンスレポート

第2回X線レーザー国際会議報告

富江 敏 尚*

Report of 2nd International Colloquium on X-ray Lasers

Toshihisa TOMIE*

イギリスのヨーク大学で第2回X線レーザー国際会議が9月17日～21日に互って開かれた。第1回会議がフランスのオソワで開かれたのが1986年であったから、4年ぶりになる。前回はLLNL, プリンストン, RAL, 及びNRL-ロチェスターが200 Å前後の波長のX線増幅を観測した直後で、今回はLLNLが短波長化の目標とされた44 Åの壁を破った後に開かれた。X線レーザー研究発展の節目節目に開かれている。今回は1992年にドイツのミュンヘンで開かれる予定だが、どんな進歩を遂げているだろうか。

次頁に示した口頭講演の全プログラムを見て頂けば分かるが、昼食と夕食の間に空いている。ヨークはロンドンに次いで観光客の多い都市だという主催者の説明があったが、昼間は名所見物ができる様にとの配慮からである。但し、9時から夜のセッションがあり、どの発表も時間オーバーしたこともあり、深夜まで延々と講演が続いた。コックリコックリしながら聞くという、なかなかハードな会議であった。百名前後の参加者のほとんどがカレッジの宿舎に宿泊し三食を共にした。世界のX線レーザー関係の研究者相互の緊密さが増しただけでも大成功であった。紙面のスペースの関係で掲載できなかった35件のポスター発表を含め、講演はどれも内容が充実していた。この内の一部を筆者の偏見に基づいて紹介する。

1. 電子衝突励起方式

今回の目玉は何と言ってもLLNLによるウォーターウィンドーX線レーザーの実現である(D. Matthews, B. MacGowan)。Ni様Wイオンで43.18 Å X線が増幅でき($g_l=7$)、Ni様Auイオンで35.6 Åの増幅が確認されている。43.7 Å以下の波長のX線レーザーが実現したことで、X線レーザー応用が現実味を帯びてきた。

1986年当時はLLNLにしか実験ができないと言われた電子衝突励起方式であるが、NRL, RAL, NRCなど多くの研究所で実験が行われており、今や電子衝突励起花盛りである。尤も、アメリカを除いては一国で一つの研究所しか持てない数百以上の巨大レーザーが依然必要である。必要な励起パワーの若干の低下および薄膜ターゲットでなく平板ターゲットでも増幅が可能になったのは、1 μmの長波長励起レーザーの使用がその理由である。Cu²⁹からMo⁴²までの元素について増幅が観測されており、Ne様イオンについては系統的な考察が可能になっている。 $J=0 \rightarrow 1$ 遷移の利得は原子番号依存性がないが、 $J=2 \rightarrow 1$ 遷移の利得は、Cuでは $J=0 \rightarrow 1$ と同じだが原子番号とともに利得も大きくなり、Asで最大になる(E. McLean)。RALではX線レーザービームの方向性およびビーム拡がりについて詳細に研究している。プラズマ

*電子技術総合研究所 (〒305 つくば市梅園1-1-4)

*Electrotechnical Laboratory (1-1-4 Tsukuba, Ibaraki 305)

2nd International Colloquium X-ray Lasers

Monday, 17 September

0855 Opening remarks and welcome

G J Pert

0900-1015 ORAL SESSION

0900 Review of Soft X-ray Laser Research at the Institute of Laser Engineering

Y Kato

0930 UV Thomson Scattering from X-ray Laser Plasmas

H Baldis,
et al

0945 Hydrogen-like Recombination X-ray Laser Experiments Using a 20 Picosecond Laser Pulse at the NOVA Facility

R Shepherd,
et al

1000 Conditions for Gain in Lithium-like Aluminium

A Klisnick,
et al

1015 Coupling of Soft X-ray Lasing Between Two Massive Germanium Stripe Targets

D Neely,
et al

1030 - COFFEE

1100-1215 ORAL SESSION

1100 Photo-Electron and Photoionization Pumping of XUV Lasers by Laser Produced Plasmas

C Barty,
et al

1130 New Resonantly Photo-Pumped X-ray Laser Schemes

J -Nilsen

1145 X-ray Lasers with Direct Electron Excitation

I Khyazev,
V Korobkin,
M Romagnovsk

1200 Calculations of Photoionization, Photo-excitation, and Gain Production in a Neon Gas Cell Irradiated by Sodium Z Pinches on SATURN and Double EAGLE

J Apruzese,
et al

1215 Photon-Pumped X-ray Laser Physics Experiments Using a Plasma Radiation Source

M Matzen,
et al

1245 - LUNCH

1700-1900 POSTER SESSION

2000-2100 ORAL SESSION

2000 Pumping by Recombination in Lithium-like Ions

P Jaegle,
et al

2030 Review of X-ray Lasers and their Applications at Princeton

S Suckewer

Tuesday, 18 September

0900-1030 ORAL SESSION

0900 Experiments on X-ray Laser Photo-Pumping

E Fill

0930 Prospects of Resonant Photoexcitation as a Pumping Mechanism for Z-Pinch Plasma X-ray Lasers

B Chichkov

0945 Kinetics Experiments on Neon-Like X-ray Lasers

D Fields,
et al

1000 Simulation and Analysis of Recent Neon-like X-ray Laser Kinetics Experiments

R Walling,
et al

1015 Demonstration of a Resonantly Photo-Pumped X-ray Laser

T Boehly,
et al

1030 - COFFEE

1100-1230 ORAL SESSION

1100 Problems in the Theory of Recombination Lasers

G Pert

1130 Study of Recombination X-ray Lasers and Related Plasma Physics at Shanghai

Zhi-Zhan Xu,
et al

1200 Analysis of the X-ray Gain in Hydrogen-Like Na

W Brunner,
R John,
Th Schlegel

1215 Numerical and Analytic Modelling Study of Recombination Lasers

M Key,
N Tragin,
S Rose

1245 - LUNCH

1400 - FREE

1700 - 1900 POSTER SESSION

2000-2145 ORAL SESSION

2000 Collisional Excitation X-ray Lasers

D Matthews

2045 Short Wavelength Nickel-Like X-ray Laser Development

B MacGowan,
et al

2115 Collisionally Excited X-ray Laser Schemes: Progress at Rutherford Appleton Laboratory

C L S Lewis,
et al

Wednesday, 19 September0900-1030 ORAL SESSION

0900	Ultrashort Pulse Multiphoton Ionization Produced Plasmas for X-UV Lasers	P Corkum,
N Burnett,
G Enright
0930	L-Shell X-Ray Lasers Pumped by Subpicosecond UV Lasers	G Kyrala
0945	KrF Pumped Raman Lasers as X-ray Laser Drivers	M Key,
E Harvey,
G Hirst
1000	The Production of Highly Ionized Plasmas by Picosecond Laser Pulses for Possible X-ray Laser Media	J Edwards,
V Barrow
O Willi
1015	Generation of High Density Aluminium Plasma by a Picosecond KrF Laser Pulse and the Effect of Prepulse ASE	T Tomie
et al

1030 - COFFEE1100-1230 ORAL SESSION

1100	Development of Small Scale Soft X-ray Lasers	C Skinner
et al
1130	Progress on a Table-Top EUV Laser at MIT	P Hagelstein
et al
1200	Compact Soft X-ray Laser	T Hara
et al
1215	Lasers Pumped by Heavy Ion Beams	A Ulrich
et al

1245 - LUNCH1700-1900 WORKSHOP"Prospects and Applications for Table-Top X-ray Lasers".Chairman: Professor G J Pert1900 - DINNER2000-2130 ORAL SESSION

2000	X-ray Optics and Optical Systems	J Underwood
2030	X-ray Microscopy Experiments	G Schmah
2100	X-ray Laser Holography of Biological Microstructures	J Trebes

Thursday, 20 September0900-1030 ORAL SESSION

0900	Calculation of Electron Excitation Rates for Modelling of X-ray Lasers	A Kingston
0930	Laser Gain on 3p-3d and 3p-3s Transitions for the Nitrogen Isoelectronic Sequence	M Cohen
et al
0945	Optical Constants for C, N and O Near the K Absorption Edge: Implications for X-ray Laser Holography and Multilayer Mirrors	J Seely
et al
1000	Spectral Line Broadening in X-ray Laser Research	H Griem,
J Moreno
1015	Optical Trapping in a Non-Uniformly Expanding Two Level Medium	M Lightbody

1100-1230 ORAL SESSION

1100	Recombination X-ray Lasers	D Eder,
M Rosch
1130	Towards Shorter Wavelength X-ray Lasers Using a Powerful Sub-Picosecond Laser	W Tighe
et al
1200	Space Resolved Observation of Population Inversion, Electron Temperature, and Opacity of a Recombining Carbon Plasma	T Tomie,
M Yano
1215	Numerical Simulations of Inner-Shell Photoionization-Pumped X-ray Lasing in Boron	G Olson,
J Gattuta,
J Comly

Friday, 21 September0900-1030 ORAL SESSION

0900	Nickel-Like Soft X-ray Lasers at 44.8A and 43.1A	S Maxon
et al
0930	Recent Studies of Collisionally Excited X-ray Lasers at NRL	E McLean
et al
0945	Gain Measurements in a Collisionally Excited Ge Plasma	G Enright
et al
1000	Effects of Beam Non-Uniformities on Line Focus Plasma Conditions	J Kieffer,
M Chaker
H Pepin
1015	Characterisation of Amplification in Neon-like Silver: Gain Measurement, Time-Resolved Emission Duration and X-ray Laser Beam Divergence	D Desenne
et al

1100-1230 ORAL SESSION

1100	X-Ray Laser Studies at IOFAN	V Korobkin,
A Borovskii
1130	High Quality X-ray Lasers for Applications	R London
1200	Temperature Diagnostic of Germanium Laser-Produced Plasmas Using Absorption Spectroscopy of 2p-3d Transition Arrays	C Chenais
-Popovics,
et al
1215	Experimental Measurement of the Expansion History of Aluminium Stripe Targets Relevant to Soft-XRL Schemes	D O'Neill
et al
1230	Closing Remarks	

の密度勾配による屈折が原因でターゲット表面とはある角度をなしてX線ビームが放出されるが、増幅器ターゲットの配置を工夫することでGeの236 Å X線ビームの方向の制御に成功している(C.L.S. Lewis)。

2. 共鳴光励起方式

この方式は古くから提案され、多くの理論研究や線スペクトル強度測定などの実験が行われてきた。この方式でのXUVレーザーが初めて実現されたのも大きなトピックスであった。ロチェスター大では、Ne様電子衝突方式のZスケーリングの実験中にTiで光励起によるレーザー利得を観測した(T.Boehly)。C様の $3s \rightarrow 2p$ 発光およびN様の $3d \rightarrow 2p$ 発光によるNe様の $2p \rightarrow 4d$ の共鳴励起で $3p \rightarrow 3s$ の $J = 0 \rightarrow 1$ 遷移(326.5 Å)に対して $g_I = 10$ の利得が得られた。この実験では、プレパルスの存在とC様およびN様イオンが生成されるほどの過励起が重要であるとされている。光励起方式で33 Å レーザーも可能であるという計算もある(J.Nilsen)。今後どう展開できるか楽しみである。

3. 再結合方式

大阪大ではH様イオンの54 Å X線のレーザー利得の空間時間依存性を観測した(Y.Kato)。高効率化が可能であるとして期待される方式であるが、利得観測の実験に限ればそれ以外には見るべき進歩がないのが残念である。プリンストン大の例を除けば、再結合方式では2~3という小さな g_I 値しか報告されていない。これは照射ビームの不均一に起因するとの議論もあった(A.Klisnick)。観測方法を間違えると、利得のない遷移に対してもターゲット長とともにスペクトル強度が級数的に増大するデータを得ることも可能であることが実験的に示された(C.Skinner)。特に平板ターゲットを用いて小さな g_I 値しか得られない場合は、プラズマに対する詳細な考察がなされてないと専門家を説得することはできない。

4. 基礎実験

今回の会議で浮き彫りになったのが基礎実験の重要性である。

再結合方式で最も論議されたのは光トラッピングであった。光トラッピングを無視しないとコンピューターシミュレーションと実験結果が一致しないが、物理学的にこれは正当化できない(G.Pert)。光トラッピングを考慮したシミュレーションが実験と一致するという報告もある(W.Brunner)。コードには実験に合わせるためのフィッティングパラメーターが有って厳密なシミュレーションになっていないとの指摘もある(D.Eder)。ファイバーターゲットでは光トラッピング効果は小さいとの実験(T.Tomie)や、吸収法による電子密度の時間空間分解測定(D.O'Neil)の報告があるが、X線レーザー物理の理解には詳細な基礎実験が多く必要である。

電子衝突励起方式でもプラズマ状態をより良く理解するための基礎実験が行われている(D.J.Fields)。X線利得のピークが照射レーザーピークの後に現れることなどから、再結合の寄与もかなりあると考えられている(R.S.Walling)。電子温度の測定データなしでシミュレーションを行っているのが現状であり、トムソン散乱による電子温度の測定の報告(H.Baldis)は注目を浴びた。

その他、サテライトスペクトルから電子温度を求める新しい提案(K.Koshelev)や炭素のK端の波長は化合物によって若干異なるという報告(J.Seely)が目をつけた。

5. 短パルス照射レーザー

X線レーザーの短波長化、高効率化のために、多くの研究所で励起レーザーの短パルス化が行われている。ピコ秒KrFレーザーも電総研で21Jが得られ(T.Tomie)、RALではラマン変換法で4 Jの高品質ビームが得られる(M.H.Key)など各研究所のシステム開発は一応の完成に近づいている。プラズマ実験は電子密度の評価(T.Tomie)などが開始されたばかりであ

るが、今後多くのデータが報告されるようになるだろう。多光子電離を用いた再結合方式(P.Corkum)も興味ある提案であり、早期の実証実験が待たれる。

6. 応用

ワークショップではテーブルトップX線レーザーの実現の見通しと応用への展望が論議された。応用の可能性になると素人論議で具体的なお話にはならなかった。ポスター発表で純粋に科学的ながら幾つかの具体的な応用の可能性が提案(L.B.Da Silva)されたが、どんな応用であれそれを自ら実践してX線レーザーの有用性を実証しなければ使いたい人は現れないという意見と、X線レーザー研究者は応用に関しては素人だから、いろんな分野の会合に顔を出し宣伝に努める必要があるという意見があった。

シンクロトロン光を用いた結像型X線顕微鏡

で露光時間10～30秒ながら300 Å分解能の像が得られている(G.Schmahl)。X線レーザーを用いれば露光時間数十psでX線ホログラムが得られる。必要なX線レーザーエネルギーを小さくするために金のラベリングを行ったり、奥行き方向の分解能を上げるために多ビームホログラムを撮るなどの工夫があり、コンピューターシミュレーションでその効果が確認されている(J.Trebes)。プリンストン大では182 Å X線レーザーと光学顕微鏡とを組み合わせたX線顕微鏡を実際に作って実験を行っている(S.Sukewer)。

どの発表も興味深いものであったが、残念ながら手元には簡単なアブストラクトとメモ書きしか残っていない。上述の報告はうろ覚えの記憶に基づくものである。幸い会議録が出版される予定であり、来年春にはX線レーザー研究の最前線に関する正確な情報が得られる。