

PRESENT STATUS OF UVSOR-II FREE ELECTRON LASER

Masahito Hosaka^{1,A)}, Masahiro Katoh^{A)}, Akira Mochihashi^{A)}, Miho Shimada^{A)}, Jun-ichiro Yamazaki^{A)},
Yoshifumi Takashima^{B)}, Toru Hara^{A), C)}^{A)} UVSOR facility Institute for Molecular Science
38 Myodaiji-cho, Okazaki, Aichi 444-8585^{B)} Graduate School of Engineering, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi 464-8585^{C)} RIKEN/SPring8

1-1-1 Kouto, Mikazuki, Hyogo 679-5148

Abstract

On the UVSOR storage ring, free electron laser (FEL) experiments have been made using a helical optical klystron. Thanks to a recent upgradation of the storage ring (lower beam emittance and higher accelerating cavity voltage), an FEL gain has been enhanced much and we have succeeded in high power lasing in a deep UV region. The highest extracted CW power is 0.25 W at wavelength of 215 nm and 1.1 W at 230 nm. Because of its variable wavelength even in deep UV region, high power and good coherence, the UVSOR-II-FEL has been recognized as a useful tool by users inside and outside Institute for Molecular Science. Now UVSOR-II-FEL has four groups of user (solid state experiments, surface physics, irradiation on bio-molecule) and three different kinds of experiments have been carried out this financial year (until July 06').

UVSOR-II 自由電子レーザーの現状

1. はじめに

UVSORではこれまで蓄積リング型自由電子レーザー (FEL) の開発が進められきた。円偏光オプティカルクライストロンの導入により当時の最短波長である239 nmの発振に成功し (1997年)^[1]、可視域ながら平均出力1.2 Wの大強度発振に成功している (2001年)^[2]。2003年からのUVSOR高度化により蓄積リングの電子ビームの性能は向上し、特にビームエミッタンスはこれまでの約1/6になった^[3]。このことはFELにとって有利であり、FEL増幅率の増加によって紫外領域である波長255nmの領域で平均出力0.2 Wを越える発振に成功している(2004年)。さらにUVSORは2005年にRF加速空洞の更新が行われ、これまでの50 kVであった加速電圧を150 kVまで上げることが可能になった^[4]。このことでさらにFELの性能を向上させることができ、深紫外域 (215nm および230 nm) 近辺の領域の大強度発振の成功した。最新のUVSOR-IIストレージリングおよびFELのパラメータを表1にまとめてある。また深紫外域にFELはユーザーの応用利用に用いられ、現在合計で4グループの実験が進められている。本稿では深紫外での発振実験およびユーザー実験の様子を報告する。

2. 波長域215 nmでの発振

深紫外域波長215nm近辺の発振実験の目的はFELの利用実験のユーザーに必要な波長のFELを供給す

表1 UVSOR-II FELのパラメータ

アンジュレータ (オプティカルクライストロン)		
偏光	直線、左右円偏光	
周期長	110 mm	
周期数	9 + 9	
K値	直線偏光	< 8.5
	円偏光	< 4.6
電子ビーム		
繰り返し周波数	11.26 MHz (2-bunch)	
ビームエネルギー	600 MeV	750 MeV
エミッタンス	18 nmrad	24 nmrad
自然バンチ長 (Vc=150 kV)	64 psec	88 psec

ることである。この利用実験は生体分子への照射実験であり、対象となるサンプルは215nm近辺の吸収が特に強いために、このFELの波長が選ばれた。これまでのUVSORでの紫外域でのFELの実験では光共振器にHfO₂/SiO₂多層膜ミラーが用いられてきたが、HfO₂/SiO₂のバンドギャップは5.6 eV (220 nm)であるために、深紫外域 (<230 nm)では光の吸収が大きく用いることができない。そこでバンドギャップが約7 eV (180 nm)であるAl₂O₃/SiO₂多層膜がミラーとし

¹ E-mail: hosaka@ims.ac.jp

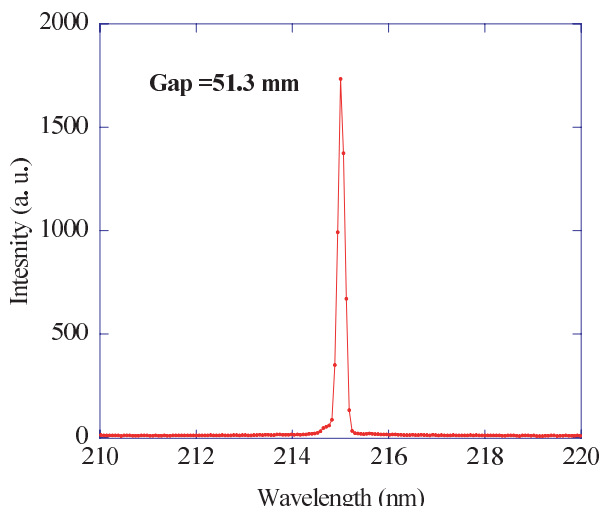


図1 分光器で測定された波長215 nmの発振

て用いられた。この多層膜ミラーは多層膜の層数を往復反射率が約99%になるように選んだが、放射光を用いて測定された反射率は約98%であった。これは反射率測定中に放射光によって劣化されたためであると考えられる。しかしながら、その後反射率の劣化は止まり、数100 mAの蓄積された電子ビームの放射光に10時間以上照射された後でも反射率には特に目立った劣化は見られなかった。

FELの発振実験は最初は電子エネルギー600 MeVで行った。このエネルギーはブースターシンクロトロンから蓄積リングへの入射エネルギーである。FEL発振は波長214 nmから216 nmの領域で得られた。測定されたスペクトルの一例を図1に示す。これまでのFELの実験は600 MeVで行われてきた。これはストレージリングへの入射器のエネルギーであり、また、一般にエネルギーが低いほどFEL増幅率が高いからである。しかしFELの出力および電子ビームの寿命を考慮すると、より高いエネルギーでの発振のほうが有利である。ただしFELに発振に十分な増幅率は必要である。今回の実験では通常の放射光利用のときの電子ビームのエネルギーである750 MeVでの発振を試みた。エネルギー750 MeVでは加速電圧を150 kVまで上昇させることで、平均強度0.25 Wまでの大強度発振に成功した(図2)。また電子ビームの寿命は600 MeVの場合と比べると約2.5倍になった。これらの性質は利用実験に非常に有利である。エネルギー750 MeVでは加速電圧を150 kVまで上昇させることで、平均強度0.25 Wまでの大強度発振に成功した(図2)。また電子ビームの寿命は600 MeVの場合と比べると約2.5倍になった。215 nmの波長域のFELは生体物質の照射実験に用いられた。この実験では左右の円偏光の光を照射し、その生成物のキラリティが測定された。UVSORのFELはオプティカルクライストロンの位相を変えることで、FELの左右偏光を切り替えることができるので、

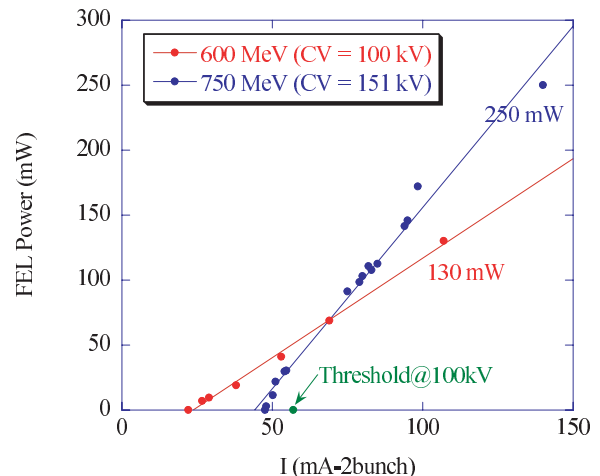


図2 波長215 nmでの電子ビームエネルギー600 MeVおよび750 MeVでのFELのパワー

ユーザーは実験条件を変えることなく実験を行うことができた。また、ユーザーはこれまで放射光を用いて実験を行ってきたが、大強度のFELを用いることで非常に短時間で測定をすませることができた。

3. 波長域230 nmでの発振

波長域230 nmの発振も215 nmの場合と同様にユーザー実験を目的として行われた。この波長が選ばれたのは表面科学の実験におけるサンプルのイオン化の測定に最適であるからである。また、FELを利用した光電子分光の実験も行われ、この実験にも230 nm付近のFELが用いられた。230 nm付近の発振においても $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 多層膜がミラーとして用いられた。いずれの実験もFELは取り出しポートから10m以上離れた実験装置の場所まで空气中を輸送され、石英の窓を通して超高真空の実験装置に入射された。空气中のレーザーの輸送にはアルミニウムにミラーを用いた。図3にストレージリングに電流を蓄積してからの時間と電流値およびFELの出力パワーの関係を示す。図から明らかなようにレーザーパワーは1Wを越えていることがわかる。この出力はこれまでの深紫外域のストレージリングFELを行っている他の施設に比べると圧倒的に大きな強度である。しかしながらレーザー出力はビーム入射後急速に低下し、30分で約0.65 Wになる。そこで共振器のミラーを調整することでパワーは0.8 Wまで回復する。レーザー出力低下の原因は、共振器ミラーがオプティカルクライストロンからの放射光による熱負荷によって膨張することで僅かにミラーのアライメントずれてしまうためである。したがってミラーの調整でレーザーパワーは回復する。このように電子

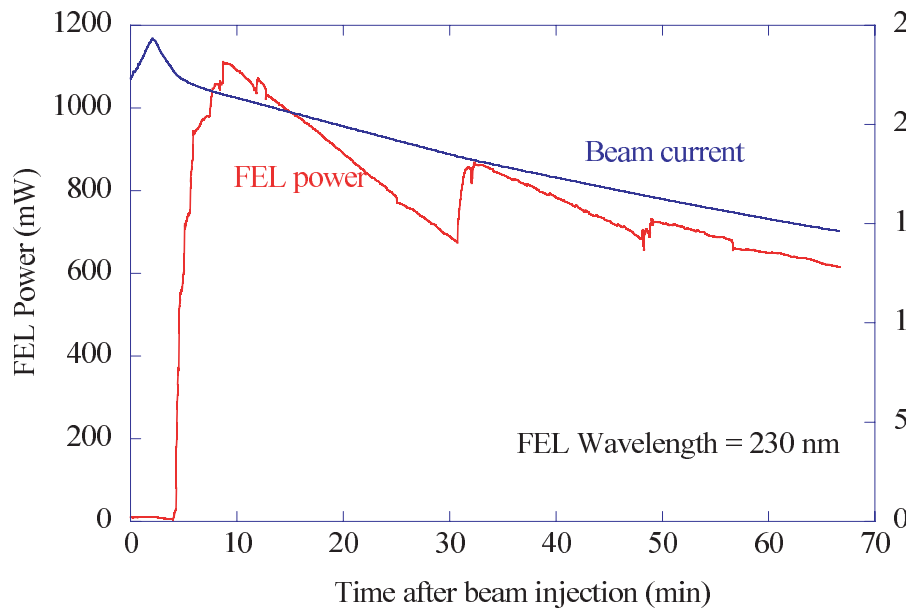


図3 波長230 nmのFELのパワーおよびそのときの電流値

ビーム入射直後のFELはあまり安定性がよくないために、実際の利用実験は蓄積電流値が100 mA/bunch程度まで低下し、レーザーパワーは0.5W程度になってから行われた。しかしながら、比較的電流になってもレーザーの位置が僅かにずれることが観測された。これまで行われてきたFELの照射実験ではこのようなことは問題にはならなかったが、よりレーザーの質に敏感な光電子分光等の利用実験をより有効に行うためには、UVSOR-II-FELを安定化することが必要であることがわかった。

4. 今後の展望

UVSOR-II-FELの利用実験は主に照射実験に用いられてきたが、最近はより高度なレーザー性質を利用する実験が行われるようになった。そのような利用実験のためにはレーザーをより安定化させる必要があり、これを進めていく予定である。また利用の幅を広げてゆくために、さらに200 nm以下の短波長領域での発振を進めてゆく予定である。

参考文献

- [1] H.Hama, et al., Free Electron laser and its Applications in Asia, (1997).
- [2] M. Hosaka et. al. Nucl. Instru. and Meth. A483 (2002).
- [3] M. Katoh et. al. Nucl. Instru. and Meth. A467 (2001).
- [4] A. Mochihashi et. al. UVSOR ACTIVITY REPORT 2005 (2006).