

# 高繰り返し極端紫外ポンププローブ計測システムの開発

電子工学科 米田研究室 佐藤 貴裕 (0022015)

## 1 はじめに

可視光領域のレーザー技術をさらに高度化するための次世代の技術として最近では X 線レーザー技術の開発が世界中で行われている。そして、X 線レーザーは超微細精密加工、新物質の合成・分解、細胞レベルでの医療技術、および本研究と関連する超高分解能計測への応用が期待されている。

超短パルスレーザーを用いた計測は、唯一フェムト秒代の精度の高い計測が可能であり、近赤外-可視光領域で用いられてきた技術をさらに短波長領域まで発展させる試みがさまざまな機関で行われている。

本研究では超短パルスレーザーの波長変換による紫外 極端紫外光へのプローブ光源開発を行い、これまで行われてきた可視 紫外プローブ計測より幅広い測定領域が可能となるポンププローブ計測システムを構築することを目的としている。

これまでの研究で、高精度の測定のためには、最も広く使われている可視 赤外域のプローブ光であっても高繰り返しによる計測データの蓄積、平均化技術による高 S/N 比の実現が計測の鍵となっている。極端紫外領域のポンププローブ計測システムそのものは 1996 年に初めて行われたが、本研究では 50Hz ~ 100Hz のより繰り返し周波数の高いシステムを構築することを目指し、システムの設計を行った。

極端紫外光の発生には希ガスの非線形相互作用による第 3 高調波を用いる。これは、気体原子に高強度レーザーを照射し基本レーザー周波数の奇数倍の周波数を持つ電磁波に変換させる方式である。一般には高い周波数領域まで変換を実現するために、長波長超短パルスレーザーを用いることが行われているが、本研究では光量を十分にとれ、比較的安定な発生が見込まれる極端紫外域の比較的低エネルギー側の光を考えているため、KrF エキシマーを利用した超短紫外レーザー (248nm, 122fs) システムを構築した。

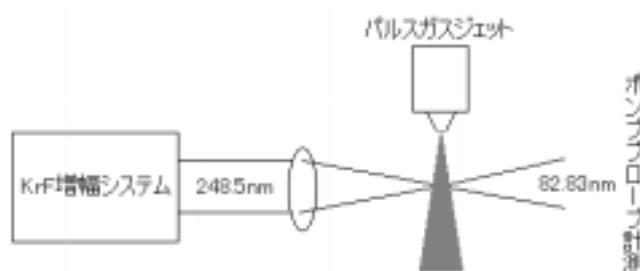


図1 本研究の全体像

## 2 実験システム

図2 にシステムの全容を示した。本研究の大まかな流れは次のようになる。

- Ti:sapphire レーザー744nm を BBO、LBO 結晶を用いて 248.5nm を得る
- ポッケルスを用いて必要なパルスを切り出す
- KrF レーザーによって増幅
- 希ガスによる非線形効果によって、極端紫外光 82.8nm を得る
- 最終的にはポンププローブ計測システムを構築

私は図2の赤い破線の四角で示したプローブパルス側のKrFレーザー増幅システムの構築を行った。

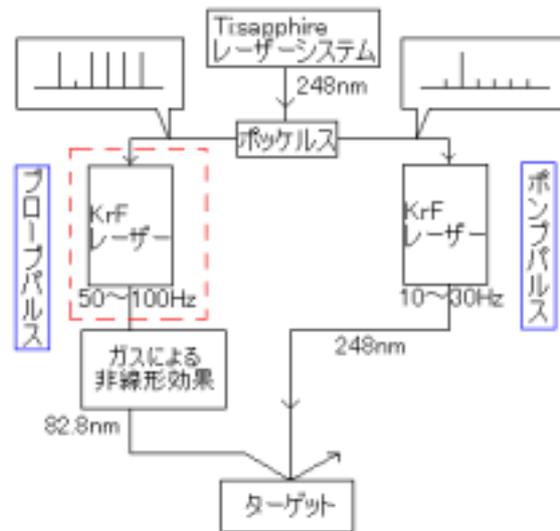


図2 システムの全容

### 3 KrF 増幅システム

#### 3.1 増幅率

ピンホール通過直後で計測した、1パスでの増幅における増幅前のシードパルスの波形を図3.1に、KrF レーザーを起動して増幅した後の波形を図3.2に示す。この両図を比較するとシードパルスが10[mV]程度から1.5[V]程度と150倍程度の増幅率が観測できた。

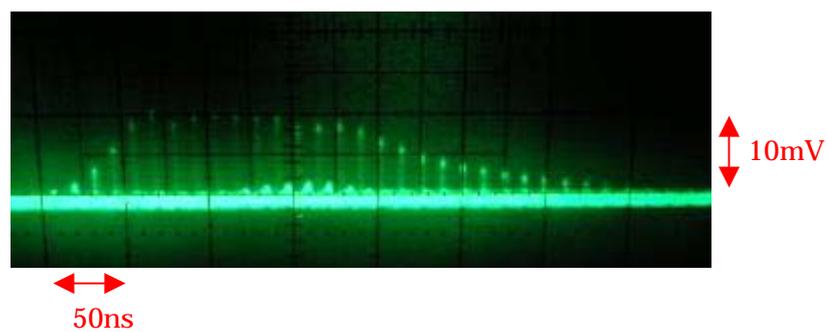


図3.1 シードパルスの波形

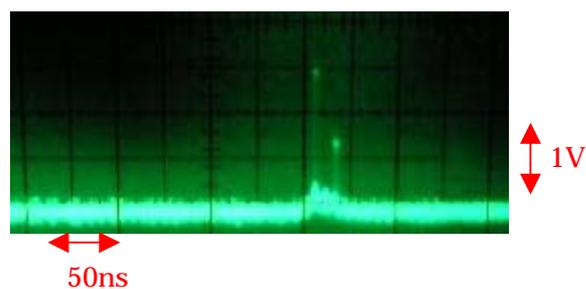


図3.2 増幅されたシードパルスの波形

### 3.2 ダブルパスでの増幅

パルスとゲインの同期をとり、ダブルパスでの増幅を行ったところ、図3.3に示すように1本のパルスをきれいに増幅することができた。

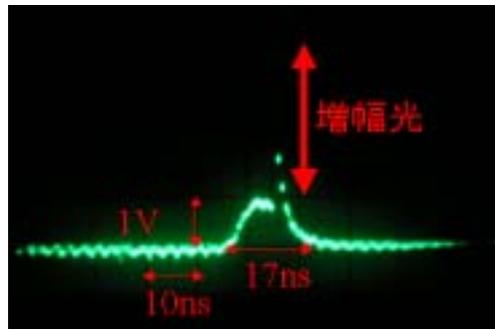


図3.3 ダブルパスでの増幅

図3.3を見ると、ゲインが取れる17nsの間にパルスが1パスから2パスへと往復しなければならぬことがわかる。光学系を12.7nsで往復するように設計したので、ゲインが取れる範囲内にうまく収まっていることがわかる。

### 3.3 ジッターの評価

KrFエキシマーレーザーにおけるサイラトロン放電のジッターが大きいと、パルスとゲインの同期を取ったとしても安定に1本のパルスを増幅させることができない。そのため、10Hz動作と50Hz動作の場合においてそのジッターの評価を行うために、次の図3.4に示すような一定の間隔で重ね合わせた20枚の連続写真を撮った。

図3.4を見ると、10Hz動作の場合はジッターが6ns程度で、それに対して50Hz動作の場合は3ns程度となっており、50Hz動作の方が10Hz動作よりもジッターが少なく、安定に1本のパルスを増幅することができるということがわかった。これは、よりこう繰り返しのシステムを構築を目指しているので都合がよい。

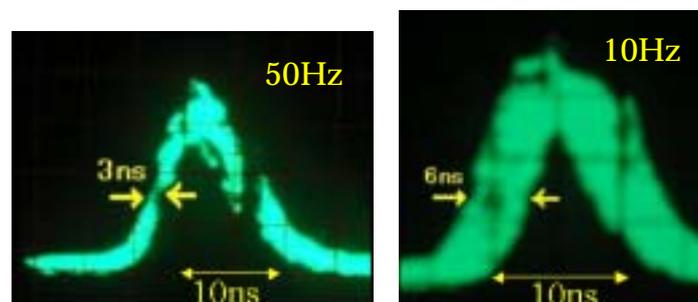


図3.4 10Hz動作と50Hz動作の20枚の連続写真

### 3.4 パルスとASEの比

ピンホールによって、パルスに対するASEの成分の低減を行ったが、低減後に実際にはどの程度ASEの成分があるのかを見積もる必要がある。

その際、オシロスコープの時間分解能の制約から次の図 3.26 のイメージ図に示すような制限された波形が観測されている。

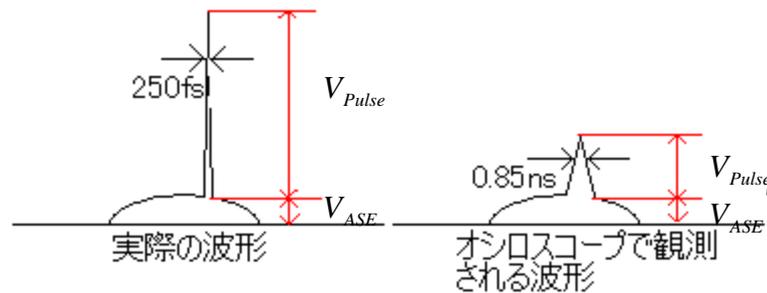


図 3.26 実際の波形と観測される波形のイメージ図

これを、次式によって補正を行うと

$$\frac{V_{Pulse}}{V_{ASE}} = \frac{V'_{Pulse}}{V_{ASE}} \times \frac{0.85 \times 10^{-9}}{250 \times 10^{-15}} = 9.86 \times 10^4 \cong 10^5$$

補正後のパルスの成分は ASE の約  $10^5$  倍となり、ASE の成分は無視できるほど小さいものとみなすことができるということがわかった。

### 3.5 パルスエネルギー

ダブルパスで増幅後のパルスを 10V/J のボロメーターによってパルスエネルギーを計測したところ、200 ~ 250  $\mu$ J という値が得られた。

極端紫外光発生へと応用し、そのパルスをプローブパルスとして用いるという観点から見れば必要な値は得られたといえる。

## 4 結論

レーザーの修繕や交換に手間取ったが、KrF レーザーシステムの冷却水系、ガス系、電気系、信号系、光学系を整備し、増幅までを確認することができた。

増幅系の評価と改善のために、次のことを行い、KrF レーザーシステムの開発を完了した。

- ・ 1 パスでの増幅率の計測
- ・ 光学系の設計を工夫することで、ダブルパスを通して 1 本のパルスをきれいに増幅
- ・ 10Hz 動作と 50Hz 動作の場合においてそのジッターの評価
- ・ パルスに対する ASE の成分の低減を行ったが、低減後に実際にはどの程度 ASE の成分があるのかの見積り
- ・ ダブルパスで増幅後のパルスのパルスエネルギーを測定

今後の課題としては、効率よく極端紫外光を発生させるために増幅率を向上し、希ガスの非線形効果による極端紫外光発生へ応用していく予定である。