

高強度真空紫外光発生の研究

0513020 米田研究室 大橋 拓司

1. 研究背景・目的

近年 Spring8 における EUV フェムト秒 FEL 研究で Sn 薄膜で高い非線形透過現象が観測された。^{*1}これは EUV 光により多くの内殻電子が励起され光学定数が大きな変化を示したことを意味する。このような現象を観測するためには、 $10^{13}\text{W}/\text{cm}^3$ 程度のエネルギー密度 (100fs、 $1\mu\text{J}$ 、 $5\mu\text{m}$ で実現) が必要であることが Sn で確認されている。

本研究はこのような内殻イオン化されかつ個体密度を持つ特異な物質状態を明らかにすることを目標とし、その第一段階として、248nm、10mJ、250fs の超短パルスレーザー、圧力調整可能かつ長い相互作用距離をとることのできるガスセルを用いて、3次、5次、7次の高調波において 10^{-4} の変換効率を実現するレーザーシステムを構築することを目指す。

2. 原理

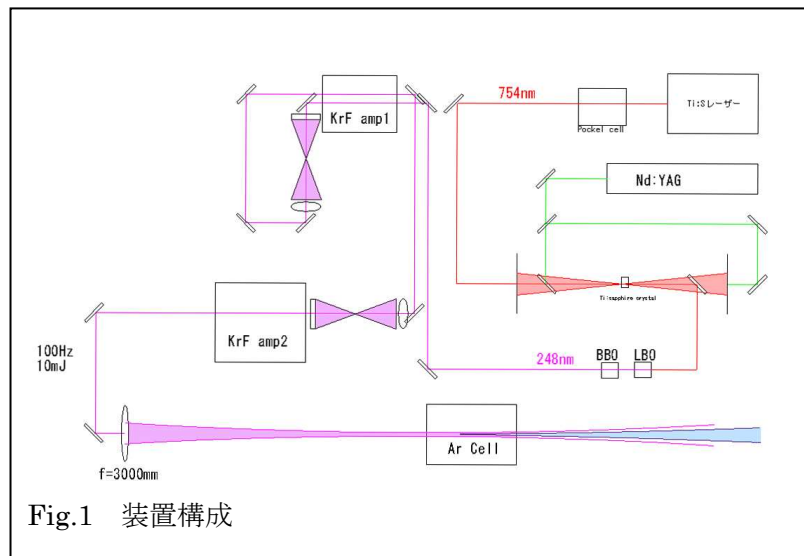
248nm の fs 超短パルスレーザーを KrF エキシマレーザー増幅器を用いて増幅し、安定かつ高強度の光を得た後、ガスセル内で集光し、ガスとの相互作用により高調波を発生させる。

高次高調波の最短波長エネルギーは、 I_p (イオン化エネルギー) + $3U_p$ (ポンディラモーティブエネルギー) と表される。このことから高次高調波の発生実験では比較的波長の長い赤外光が使われることが多いが、本研究で必要となる波長は $\lambda < 80\text{nm}$ であることから、 $\lambda = 800\text{nm}$ の赤外光を用いた場合 11 次以上の高調波が必要となるが、 $\lambda = 248\text{nm}$ の紫外光を基本光として用いた場合、3次、5次、7次で目的となる波長が得られ赤外光を用いた場合に比べはるかに強い光を得ることができる。

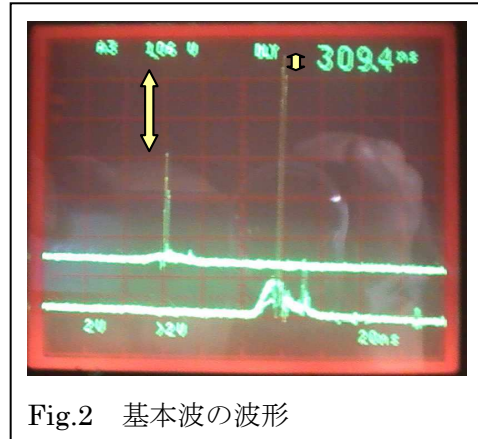
また、ガス圧調整による位相整合により最も高強度の光を得られる条件を探す。

3. 実験装置

以下に装置概略を示す。(Fig.1)
Ti:sapphire レーザーにより中心波長 745nm のガウス型のビームを発生し、Pockel Cell により切り出し、Ti:sapphire 結晶と YAG レーザ

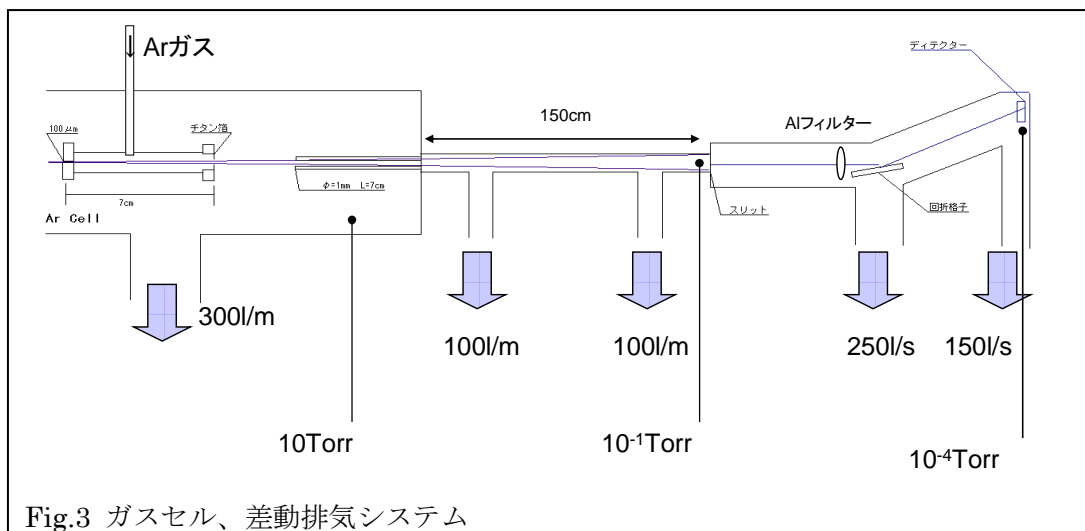


の 2 倍高調波を用いたアンプにより増幅し LBO、BBO の非線形結晶を用いて 248nm の光を得る。これを 2 器の KrF エキシマレーザー増幅器で計 3 度余裕を持って増幅することで(Fig.2 右)のような安定な 250fs、100Hz、10mJ の光を得ることができる。



得られた基本波を Ar ガスを満たしたセル内で集光し、差動排気システム(Fig.3)により真空を保ち Al フィルターにより KrF の自然放出光を除去し、分光した後計測する。

差動排気システムは内径 1mm、長さ約 7cm のパイプと、分光器入り口のスリットを利用し、最終的に 10^{-4} Torr の真空度を実現している。



4. 結果

i) EUV の観測

本研究で用いたディテクターは Fig.4 に示す感度曲線を持つ電子増倍管であり、これは 248nm の光を基本波とした場合の 3 次、5 次、7 次の高調波に相当する。つまり信号が検出された場合目的となる高調波が得られていることが分かる。

セル内に実際に Ar ガスを満たし、基本波を集光し計測した結果 Fig.5 のような波形を観測することができた。

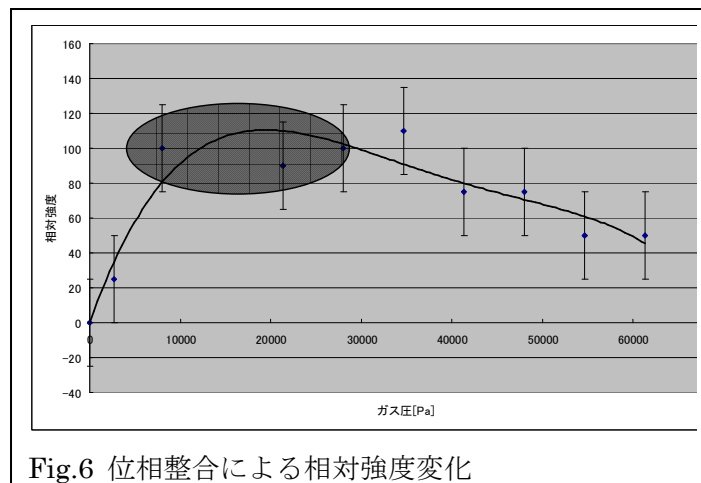
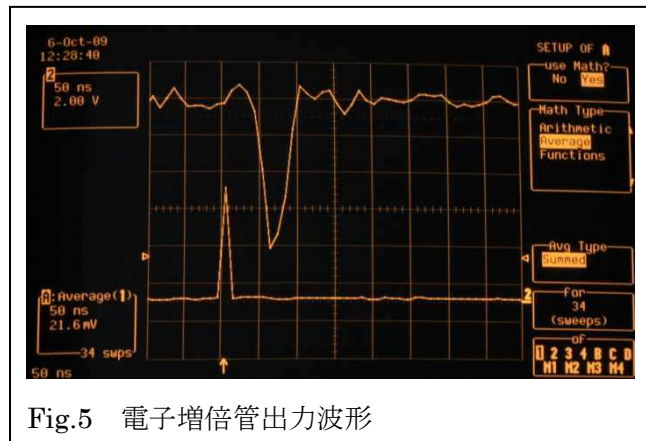
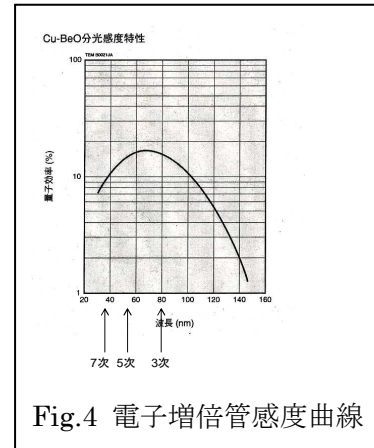
ii) ガス圧調整による位相整合

本研究で用いたガスセルはバルブ開度によりガス圧を調整することができるようになっている。ガス圧を調整することにより、気体密度を変化させ位相整合を行うことができる。ガス圧を変化させた

場合の EUV の相対強度の変化は Fig.6 に示したとおりである。

大気圧の 1/10 くらいのところでは比較的高強度な光が発生していることが分る。またガス圧を高圧から低圧に変化させていくと Fig.7 のようなセルフトラッピングと考えられる光のラインが観測され、観測される圧力帯が、高強度の

信号が観測された圧力帯と一致していることから、このあたりで位相整合が取れて最も高強度な高調波が発生していることがわかる。



5. 今後の課題

現状えられている高調波は非常に不安定である。その理由として、まず大気圧でアライメントを行いその後真空を引いた際に起こる微細な歪みによりビームが一部差動排気のためのパイプなどに当たってしまうことが上げられる。これを改善するために、真空を引いた状態で、パイプを外部からアライメントできるような機構が必要である。

また、ガス圧を調整するためのバルブの精度が不足しており、圧力を一定に保つことが出来ていない。そのためバルブをもっと高精度な物に変更しセルフトラッピングが観測されている圧力を維持できるようにする必要がある。

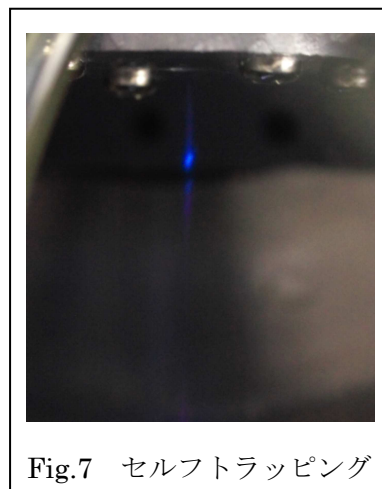


Fig.7 セルフトラッピング

*1 H. Yoneda Optics Express. , Vol. 17 Issue 26, pp.23443-23448 (2009)