

1. 超広帯域プローブシステム

(a)超広帯域白色光発生部

これまで行ってきた Sapphire 結晶を用いた白色光発生では、光が自己収束したファイラメント内でしか閉じ込めることができず、短波長側の光を出そうとすると発生した白色光の波面乱れが大きく、また、スペクトル強度分布もいくつかの過程で白色光発生が起きるために変調の大きなものになること多かった。これを解決するため、また、真空紫外域まで超広帯域化を行い、サブミクロンの空間分解能、サブフェムト秒に匹敵するプローブ光のバンド幅を得るために、KAGOME 構造を持った中空ファイバーによる白色発生法の確立を目指した。このファイバーは、英国バース大学で開発されたものであり、計算上は Ar ガスパージ条件で 150nm の真空紫外光が得られることが期待されていた。

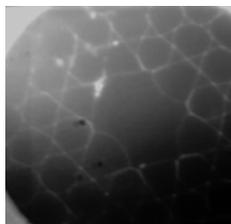


図1 KAGOME 格子ファイバーの断面

図1はそのファイバーの断面図である。KAGOME 格子状に作られたクラッド部があり、コア部は空洞となっている。これに 745nm, 150fs の超短パルスレーザーを入射させた場合のスペクトル強度分布を示したものが、図2となっている。これを見てもわかるように、大気圧空気

を媒質としているにも関わらず、使用した分光器の検出限界(190nm)まで広帯域化された光が得られることが分かった。また、コアへのカップリング状態を変化させることにより、可視域のスペクトル成分を落とし、よりフラットな超広帯域スペクトルが得られることもわかった。

現在、このスペクトルによる時間チャープ補正を可能にする液晶空間変調器と回折格子を組み合わせたものを準備中であり、最終的には、1フェムト秒台もしくはそれ以下の時間分解能を実効的に得られるプローブ光学系を完成させる。

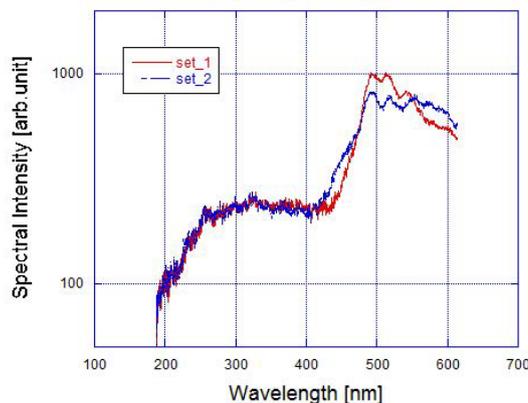


図2 超広帯域白色光スペクトル

一方、よりコンパクトで広帯域な光を発生できるように、固体を使った超広帯域光変換法の開発も行っている。一般に用いられる結晶などを用いる自己位相変調法では、結晶の非線形光学定数そのもので発生特性が決定されてしまうために、制御できるパラメータが限られてしまう。これに対して石英ガラスファイバーなどを使い、光の閉じ込めを利用したものもあるが、この場合には、逆に非線形光学定数が小さいために、効率の良い発生ができない。そこで、我々はブルガリア科学アカデミーで開発された α BBO ガラスを用い、内部に伝搬路を形成させることで、高い変換効率と、良好な空間モードを実現さ

せる手法の開発を行った。

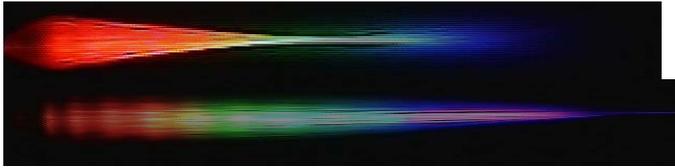


図3 α BBO 結晶 (上) とガラス (下) での白色光発生

この結果を見てもわかるように、ガラス材料では、より短波長までの光が得られており、今後導波路を積極的に書き込むなどにより、数 mm で超広帯域白色光が発生できるプローブ光の設置も行っていく。

2. SCSS試験加速器におけるテスト

実際に、このようにして得られた広帯域光で FEL 光とで時間分解された物質情報を取るためには、プローブ光反射データを解析する方法も確立しておく必要がある。また、実際には、高強度の FEL 光で照射された物質は、Auger 過程を経て、励起・イオン化電子が高温化し、最終的には高速の膨張過程に至ることが予想されているが、膨張が起きるとプローブ光の反射特性は大きく変化することがあるので、固体密度状態を保った内部エネルギー準位による変化であるのか、膨張により引き起こされたものであるのかを時間的に区

別することも必要になる。ただし、これには、FEL 光とプローブシステムの間には 100fs 台のジッターがあることが分かっており、これを踏まえてデータが処理できることを示す必要がある。そこで、我々は SCSS 試験加速器の EUV-FEL を使い、広帯域プローブ光による FEL 照射物質状態の観測を行った。具体的なセットアップは図 4 のようになっている。

ここでは、ジッターの問題を解決するために、プローブとなる白色光を時間的にわずかにチャープさせ、シングルショット計測で時間履歴が観測できるようにした。また、反射光は 2 つの偏光成分に別々に分けて観測され、その偏光反射率の変化から、膜の反射モデルを用い

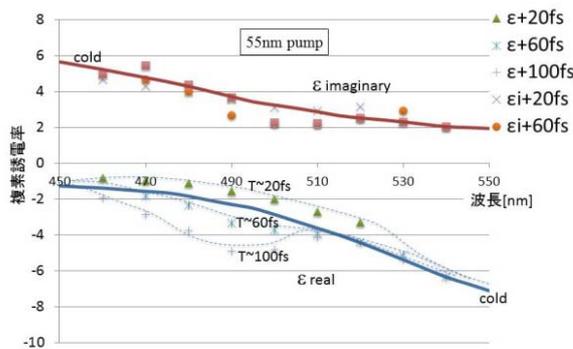


図5 55nm ポンプでの Au 薄膜の誘電率の時間変化

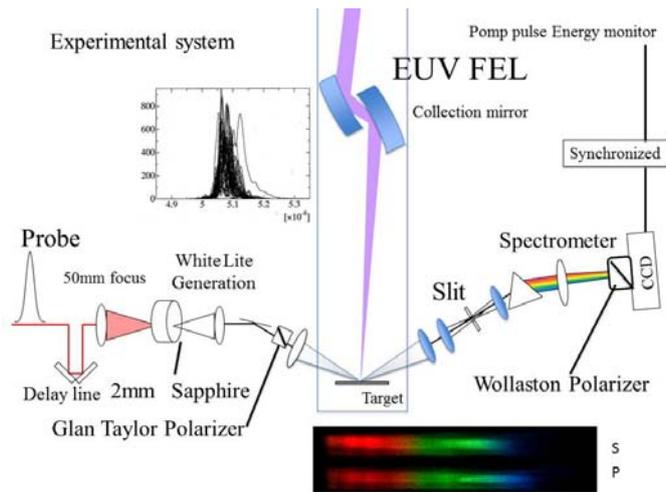


図4 SCSS-EUV-FEL に設置された FEL ポンプ・広帯域プローブ計測システム

て照射物質の光学定数変化を観測できるようにした。実際に、Au の薄膜を試料とした場合の、波長 55nm の EUV-FEL 照射後の複素誘電率の時間変化を図 5 に示している。この観測により、この EUV レーザー波長では、光励起された電子は、完全に熱化された連続状態に入るのではなく、原子の近傍で共鳴状態を作る局所化状態にあることが明らかになった。このことは、23eV (波長 55nm に対応) とい

う仕事関数 (4.9eV) よりはるかに大きな光子エネルギーで励起された固体にありながら、励起された電子は非常に静かな状態が生成できていることを意味し、内殻励起されたが秩序性が保たれていることの実験的な確証が得られたことを意味している。また、この状態は、計測された周波数幅から考えて、25fs 程度の寿命があり、一般的に言われている Auger 過程が起きるまで保たれていることもわかった。