

平成14年4月1日

加速器勉強会 RF 電子銃用フェムト秒レーザー装置 資料

0. レーザ装置の構成

一般的に、レーザー発振装置は①共振器ミラー、②励起媒質、③励起源の3つから構成されます。SPring-8 の RF-GUN 用のレーザー用に大強度レーザーは、時としてこのレーザー発振装置の後に増幅器をつけてその大強度化をします。通常のレーザーは限り無く単色です。

1. 大強度フェムト秒 Ti-Sa レーザ

SPring-8 の RF-GUN 用のレーザーは電子ビーム加速するための RF と同期をとるために④モードロックされ、短バンチビーム生成（実際は10～20 ps でいいが）のために⑤短パルスで発振し、しかもそれが紫外光レーザーで強度を稼ぐために⑥大強度に増幅しなければなりません。本装置ではレーザー発振装置で④モードロック、⑤短パルスで発振をさせ、そのレーザー光パルスを“Chirped Pulse Amplification”という方法で増幅します。

このような発振器や増幅器が可能かといいますと、自由に光パルス幅を伸ばしたり縮めたりすることができるからです。では何故、自由に光パルス幅を伸ばしたり縮めたりすることができるか？それは、ここで使用されている②励起媒質の Ti-Sa が単色でなく50～80 nm のスペクトル幅をもった虹色のレーザーを発振できるからなのです。もちろん、このレーザーの全ての色を殺さないために①共振器ミラーはこのレーザーすべての色の光を高い反射率（99%以上）で反射できるように設計されています。レーザー光が虹色ですと、プリズムの実験で分かりますように、光が違った光路をとるためと光の速度は同一媒質中では一定のために、時間差が付きます。

これを利用して、虹色の光パルスを短くしたり長くしたりすることができます。この方法を“ Chirping ”といいます。そのための道具はプリズムでも回折格子でも特殊なミラーでも実現できます。本実験装置では、レーザ発振装置では特殊なミラーを、増幅装置には回折格子を使ってパルス幅を自由に変えています。

レーザ発振装置ではまた、レーザ媒質のゲインの時間幅がある発振の条件になると、①共振器ミラー間を、一往復に一回だけ発振するようにできます。この方法を④モードロック（正確に言うと縦のモードロック）といいます。本装置ではこの発振周波数がぴったり 89.25MHz になるようなミラー間の距離になっています。この RF の周波数 2856MHz の 32 分周になっていますので、レーザパルスと RF の同期をとることができます。ただし、温度変化等で若干のミラー間の距離が変化しますので、それを補正するためにピエゾで制御しています。

ここで、もうちょっと本レーザ装置での増幅方法“ Chirped Pulse Amplification ”を詳しく書くことにしましょう。まず、レーザ発振装置で作られた短パルスビームの幅を回折格子のペアで構成されたストレッチャーとよばれるもので長くしてやります。それはそのまま増幅すると、ピーク強度が現在の光学素子の強度限界を超えて壊してしまうためです。次に、私達は 10Hz で電子ビーム加速しますので、先ほどの 89.25MHz で来るレーザービームパルスは多すぎます。どのみち捨てるのに、これらを総べて増幅するのは勿体ないのでポッケルスセルという偏向を自由に制御できる装置で 10Hz 分のみ取り出します。その後、マルチパスと呼ばれる何回もレーザ励起媒質を往復する増幅器で先程取り出した 10Hz 分のレーザパルスを大きく限界まで育てます。最後に長く伸ばし大きく育てたパルスビームの幅を回折格子のペアで構成されたコンプレッサーとよばれるもので一気に短く（50ps）して大強度モードロック・フェムト秒 Ti-Sa レーザパルスのできあがりです。

2. 高調波変換

先ほどのレーザ光は残念ながらそのままでは SPring-8 の RF-GUN 用の光源として使うことはできません。それは波長が長い、すなわち光一つ分のエネルギーが小さいために、銅でできたカソード面から電子を叩き出せないからです。そのためには、今の波長を 3 倍短く、すなわち光一つ分のエネルギーを今の 3 倍にしてやらねばなりません。そのための特別な BBO 結晶という非線形効果を使って光の波長を半分にすることができます。これを上手く利用することで、光の波長を 3 分の 1 の紫外光にすることができます。この一連の作業を高調波変換といいます。この後、石英の 70 cm ほどの長さの棒の中を通して、パルス幅を 20ps にして SPring-8 の RF-GUN 用の光源として使えるようになります。