

## レーザーアッテネーターについて

### アッテネーターの必要性

レーザー出力を制御する最も簡単な方法は、その利得媒質に対する励起光出力を制御させることです。固体レーザーではレーザーダイオードの電流値を変換することで出力調整を行うことができます。しかしながら、このような電流制御の方法は、下記の理由により、滑らかで連続的なレーザー出力制御をすることができません。

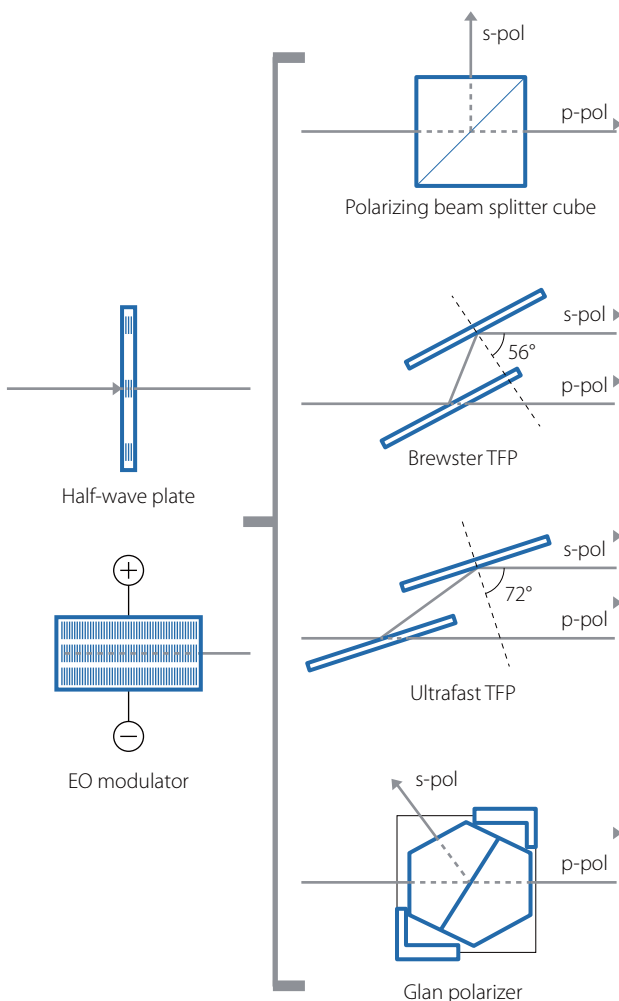
レーザーダイオードの電流値を変化させると、レーザーダイオードの温度シフトがなされ、伝導帯と価電子帯との間のバンドギャップが変化します。そのためレーザーダイオードの中心波長がシフトし、固体レーザー媒質が最適化された状態から外れるためです。CW動作の場合、この一連の事象はレーザー出力の変動をもたらす、出力を再び安定させるのに時間を要します。

パルスレーザー（例えば受動Qスイッチ）の場合には、出力パワーの変動のみならず、繰返し周波数及びパルス幅に変化を生じます。

さらに、動作中におけるレーザーダイオードの電流値の変化は、レーザーダイオードの劣化をもたらします。[1]

そのため、出力制御は電流変化の少ないアプリケーションでのみ有効です。

[1] [photonics.gsfc.nasa.gov/tva/meldoc/sources1.pdf](https://www.photonics.gsfc.nasa.gov/tva/meldoc/sources1.pdf)



Options of polarization manipulation based attenuator.

### 吸収型アッテネーター

このため、外部からのレーザー出力制御が最も一般的な方法になります。例えば、吸収型ガラスフィルターは、比較的出力の低いビームを減衰させるのに有用で、ナノ秒の範囲内で最大  $1 \text{ J} / \text{cm}^2$  のエネルギー密度まで耐力を持ちます。NDフィルターは、紫外から近赤外までの広いスペクトルにわたって均一な減衰が可能です。

一方、反射型フィルターは、レーザー光の一部を反射して吸収しながらその一部を透過する金属層で構成されています。反射型コーティングの利点は、フィルター断面に沿って金属層の厚さを連続的に変化できることです。

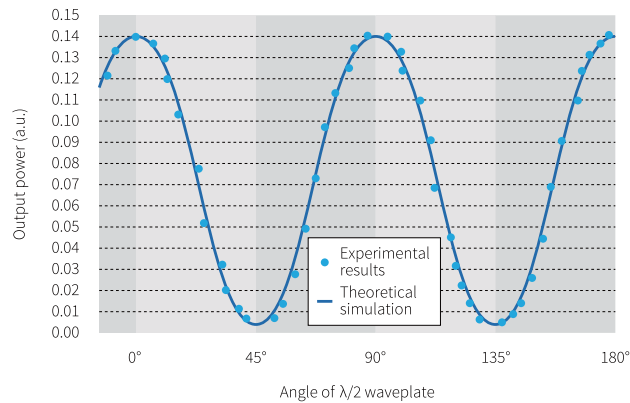
### 偏光ビームスプリッター型アッテネーター

偏光を有するレーザー光は、偏光回転子及び偏光子を操作することで、出力調整を高い分解能で行うことができます。

偏光回転子は、一般的に偏光を回転させる波長板または電気光学（EO）変調器です。

次に、ビームは偏光子を透過し、S偏光およびP偏光成分に分離されます。

2つのビーム間の強度比は、波長板又はEO変調器のいずれかの偏光回転子によって制御されます。EO変調器はピコ秒の10分の1以内に入力ビームの偏光を90°回転させることができ[2]、パルスピッキングやキャビティダンピング用途に適用可能であるものの、数kVの電圧を必要とします。



波長板を偏光回転子として使用する場合は、偏光の回転スピードは遅くならざるをえませんが、手動と電動の両方の制御で実現することができ、数百ミリ秒以内に最小から最大の減衰を実現させることができます。偏光光学素子は一般的に容易に入手できる多種多様の素子であり、特定の用途に特有の特徴を有するアッテネーターを製作することを可能にします。例えば、S偏光とP偏光で90°の分離を行う際において、キューブ型の偏光子が一般的に用いられ、平行光ビームが必要な場合にはフェムト秒レーザー用には2つの平行な薄型ブリュースター偏光子を使用します。これは反射型のため、分散がほとんどなくパルス幅を保つのに有用です。

中赤外領域は、中赤外線波長板及びイットリウムオルトバナジウム酸塩 (YVO4) 又はTellurite (TeO2) Glanなどの適切な材料及び光学製品製造技術を使用することによって可能です。

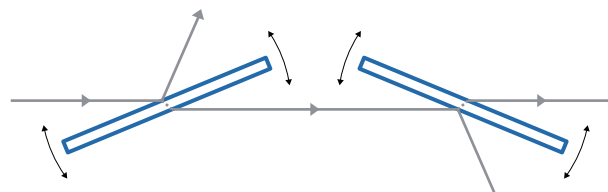
これらの原理のアッテネーターは、0.04~99%の減衰範囲を実現することができ、レーザー損傷閾値は20 J/cm<sup>2</sup>まで可能です[3]。しかし、この方法では偏光されたレーザーのみを制御することができ、偏光されていないレーザーには別の方法が必要となります。

$$R_s = \left( \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right)^2 ; R_p = \left( \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \right)^2$$

式1 S偏光とP偏光の反射率

## 無偏光用ビームスプリッター

無偏光のレーザー光を減衰させる方法があります。フレネル反射に依存するアッテネーターにおいて、強度と振幅の関係を知るには2の透明な均質媒質間の界面における方程式[4]から得られます。RsとRpはS偏光とP偏光の反射パワー、n<sub>1</sub>とn<sub>2</sub>は媒質の屈折率、θ<sub>1</sub>は入射角であり、θ<sub>2</sub>は屈折角です。

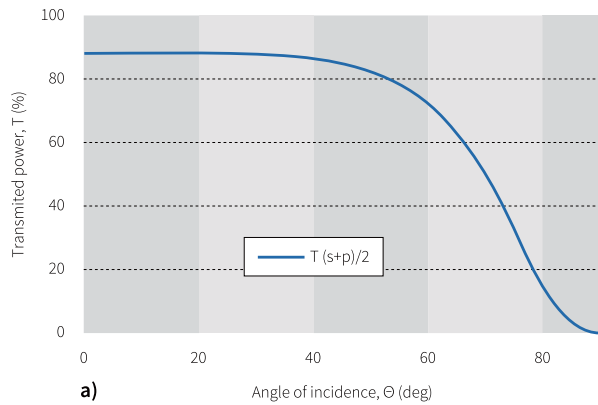


このようなアッテネーターは、上図のようなコーティングされていないガラスプレート2枚の構成になります。フレネル反射は入射角に依存するので、プレート間の角度を変化させることによって透過パワーも連続的に変化させることができます。コーティングされていないガラス板は、アッテネーターのレーザー損傷閾値がガラス材料の損傷閾値に等しく、これは原理的に最も損傷耐性が高いアッテネーターということになります。もう一つの特徴は、広帯域スペクトル範囲での動作が可能であり、これはスーパーコンティニュウム光さえも制御させることができます。しかし、主な欠点は、超高速レーザーでは比較的パルス幅の伸長をもたらします。もう一つの欠点は、フレネル反射を避けることができず、損失がかなり高いことです。

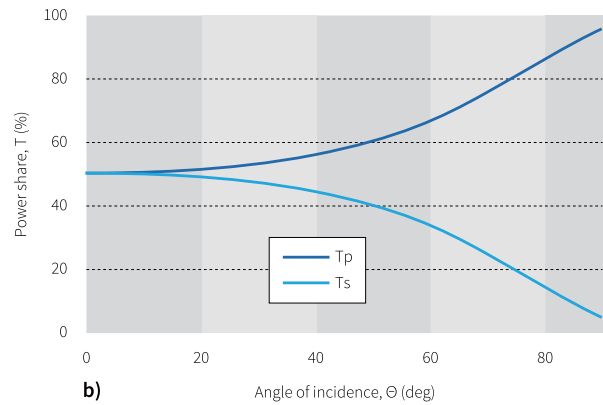
(例えば、UVFSは1064 nmで3%を超え、[5]光学系全体では最大透過率は通常90%以下です) また、アッテネーター透過後のビームは偏光され、減衰が大きいほど、透過光のP偏光がより支配的になります。

### 参考文献

- [2] [www.rp-photonics.com/cavity\\_dumping.html?s=ak](http://www.rp-photonics.com/cavity_dumping.html?s=ak)
- [3] [www.altechna.com/lidt](http://www.altechna.com/lidt)
- [4] [www.rp-photonics.com/fresnel\\_equations.html](http://www.rp-photonics.com/fresnel_equations.html)
- [5] [refractiveindex.info/?shelf=glass&book=fused\\_silica&page=Malitson](http://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=fused_silica&page=Malitson)



2枚の無コートガラスにおける入射角と透過率



2枚の無コートガラスにおける各偏光の透過率

## 自動アッテネーター(光減衰器)

標準型アッテネーター



超短パルスレーザー用アッテネーター



超短パルスレーザー用アッテネーター



## 手動アッテネーター

標準型アッテネーター



超短パルスレーザー用アッテネーター (>100 fs)



超短パルスレーザー用アッテネーター (<100 fs)

