

# ブリルアン散乱現象を用いた電気光学変調コムの発生

日大生産工(学部) ○遠山 真聖, 篠崎 良太, 佐藤 日向  
日大生産工 石澤 淳, 野邑 寿仁亜

## 1. まえがき

近年、光通信技術や高精度センサー技術の発展に伴い、コヒーレントで高安定なレーザー光源の需要が高まっている。特に、狭線幅かつ高コヒーレンスを有するレーザーは光通信、分光計測、量子情報処理、光ファイバーセンサーなどの分野において信号の精度と安定性を向上させる重要な要素である。なかでも、誘導ブリルアン散乱現象(SBS)を利用したブリルアン散乱レーザー(SBL)は、非線形光学効果を利用して入力レーザー光の周波数シフトと狭線幅化を同時に実現できることから注目されている。特に、多数の等間隔な光周波数スペクトルから構成され、光通信・分光・時間同期などに利用される電気光学変調コム(EOコム)の発生へ適用することを検討する。電気光学変調コム発生には、(i)狭線幅なレーザー光源と(ii)高安定なマイクロ波信号が必要である。そこで本研究では自作の誘導ブリルアンリング共振器(SBR)内でSBLを生成し、(i)(ii)の双方を一括で取得することを目指す。

## 2. 誘導ブリルアン散乱(SBS)

強度の高い光を光ファイバーへ入射すると、散乱光と位相整合条件を満たす音響フォノンが励起される。励起された熱振動によって散乱光が増幅されて振動分極が発生する。散乱光の周波数は散乱に寄与した熱振動の周波数だけシフトしたものとなる。この現象がSBSである。後方散乱に寄与する音響フォノンの角周波数を $\omega_B$ （周波数： $\nu_B$ ）、位相速度を $v_A$ 、光の波長を $\lambda_p$ 、光ファイバーの屈折率を $n$ とすると、

$$\nu_B = \frac{\omega_A}{2\pi} = \frac{2nv_A}{\lambda_p} \quad (2.1)$$

と表せる。入射光の強度が増加して閾値を超えると、散乱光強度が急激に高くなる。さらに、その向きは入射光の反対方向になるため、入射光はほとんど反射されて光ファイバー前方に伝搬しなくなる。一般的に、光ファイバーの

SBSは、式(2.1)のブリルアンシフトを伴って後方のみ起こる。石英系ファイバーを使用した場合、 $v_A=5.96$  km/s、 $n=1.45$ である。 $\lambda_p=1.55$   $\mu$ mを利用した場合、ドップラーシフトの周波数は、 $\nu_B \approx 11.1$  GHzとなる。

## 3. 実験方法および測定方法

実験構成をFig.1および2に示す。SBLの励起レーザーには、波長1550 nmで出力パワー約8 mWの狭線幅レーザー(RIO Planex)を用いた。故障防止のためのアイソレーターを通過後、50:50カプラーで分岐させ、自作のエルビウム添加光ファイバー増幅器(EDFA)でそれぞれ最大200 mWまで増幅させる。そして、2つの光を偏光ビームスプリッター(PBS)で合波する。このとき、PBSのPort3からの出力光の偏光は、slow(Port1入力)/fast(Port2入力)の2種類である。Port3から出力された光はサーキュレーターによって時計回りにPort1→Port2へ伝搬し、約50 mの偏波保持ファイバー(PMF)へ挿入され、SBR内を周回する。SBSはPMF内で発生し、生じた光は先程とは逆の半時計周り（Fig.2の黒線で示す方向）に伝搬する。発生したブリルアン散乱光は99:1カプラーに挿入される。2つの1%ポート側(右側:output, 左側:monitor)にPBSを挿入してslow/fast成分を分離し、各偏光成分の出力パワーをパワーメーター(PM)で測定した。

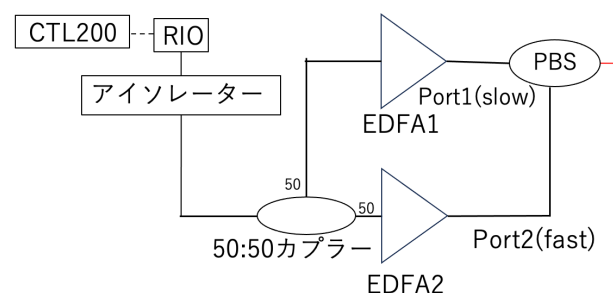


Fig.1 SBS発生の実験系(RIO Planex～PBSまで)

Generation of an Electro-Optic Modulation Comb Using Brillouin Scattering Phenomena

Manato TOYAMA, Ryota SHINOZAKI, Hyuga SATO,  
Atsushi ISHIZAWA and Junia NOMURA

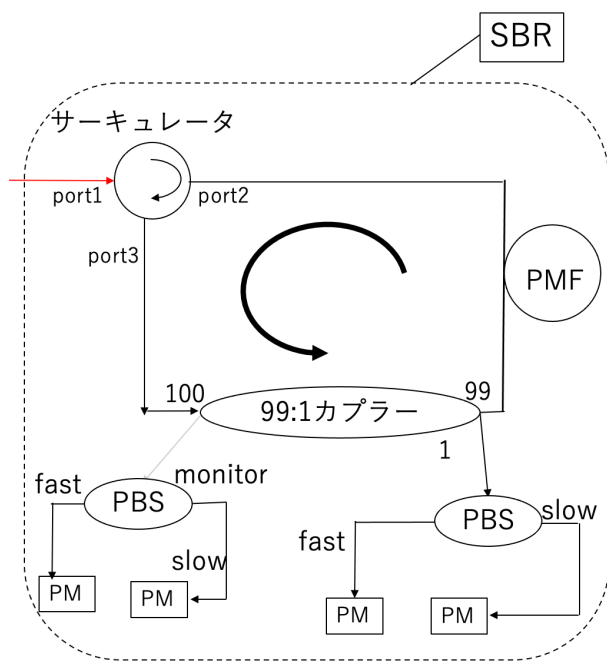


Fig.2 SBS発生の実験系(SBR)

#### 4. 実験結果および検討

Fig.3は入力偏波をfastとした場合のSBRにおける入力パワーに対する出力パワーの関係を示している。図より、入力パワーが約60 mWを超えると出力パワーが増加していることが確認できる。これは、SBSが発生していることを表し、その発生閾値が約60 mWであると判断できる。また、出力パワーの最大値は約0.2 mWであることが確認された。なお、入力偏波をslowに設定した場合でも、同様の傾向を示すグラフが得られた。

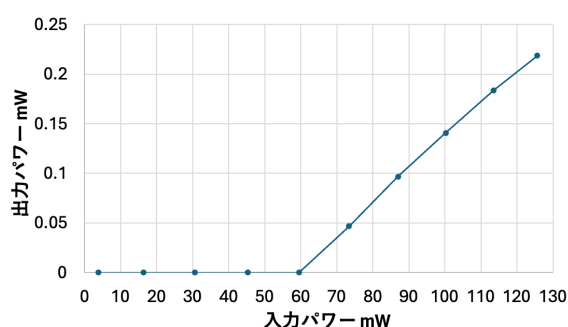


Fig.3 SBS発生の際の閾値

Fig.4はSBRに2種類(slow/fast)の励起光を同時に入力した際のoutput(fast)とmonitor(fast)のパワーの時間変化を記録した結果(横軸は経過時間、縦軸は出力パワー)を示す。output(fast)とmonitor(fast)の間に負の相関が確認された。SBRの共鳴周波数とポンプレーザーの周波数

が一致するときにはSBLの発生効率が高くなり、結果としてoutput(fast)が強くなる。その一方で、SBRからの漏れ光に相当するmonitor(fast)は弱くなるため、このような現象が生じると考えられる。同様の現象は異なる偏波(slow)でも同様に確認された。

さらに、光スペクトラムアナライザーを用いて、SBLとポンプレーザーの波長を同時に測定したところ、2つの周波数差は約0.088 nm(10.99 GHz)であり、これは、 $\nu_B$ に相当する。

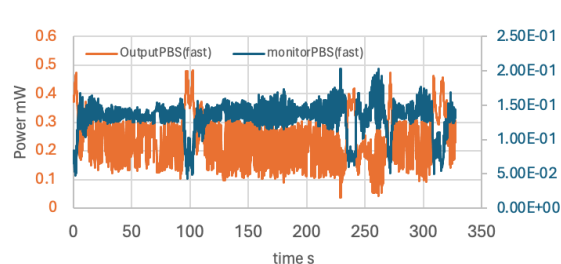


Fig.4 2種類(slow/fast)の励起光を同時に入力した際のoutput(fast)とmonitor(fast)のパワーの時間変化

#### 5. まとめ

SBRを用いたSBLの発振と、偏波ごとの時間変動特性を確認することができた。今後は、ブリルアン散乱により得られるマイクロ波周波数成分を活用して光マイクロ波変換を実現し、所属研究室で開発された光制御技術により高安定化を図る。また、生成した電気光学変調(EO)光コムの周波数安定性評価・テラヘルツ通信応用の実証を目標とする。

#### 参考文献

- 1) A. Debut et al.: Linewidth narrowing in Brillouin lasers: Theoretical analysis, Phys. Rev. A, vol 62, pp.023803 (2021).