

誘導ブリルアン散乱を用いた外部共振型半導体レーザーの低雑音化

日大生産工（院） ○杉山大泰， 和田知也
日大生産工 南 康夫， 野邑 寿仁亜， 石澤 淳

1. まえがき

光通信技術や高精度センサー技術の進歩に伴い、コヒーレントで安定したレーザー光源が求められるようになった。その中でも、狭い線幅と高いコヒーレンス特性を有するレーザーは、光通信、分光法、量子処理情報、光ファイバーセンサーといった分野への応用において、信号の精度や安定性を向上させる重要な役割を担っている。特に、光ファイバーや光共振器を用いたブリルアンレーザーは、非線形光学効果を利用することで狭線幅を実現できることから注目を浴びている[1]。本研究では、誘導ブリルアン散乱(Stimulated Brillouin Scattering, SBS)リング共振器が非常に狭い線幅を有する点を利用し、外部共振型半導体レーザーの出力を高精度で安定化させ、位相雑音を低減することを目指し、SBS の特性評価を行った。

2. 誘導ブリルアン散乱 (SBS)

レーザーのようにコヒーレンシーが高く強度の高い光を光ファイバーへ入射すると、散乱光とお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 (Fig. 1)。後方散乱に寄与する音響フォノンの角周波数を ω_B (周波数: ν_B)、位相速度を v_A 、光の波長を λ_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り入射光の強度と同程度になる。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[2,3]。

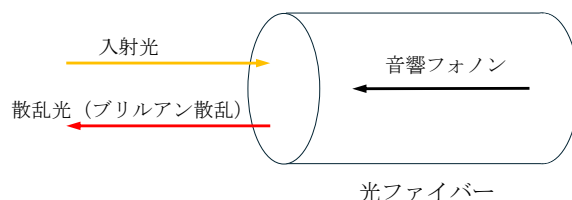


Fig. 1 SBS の概要図

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。石英系ファイバーと仮定すると、 $v_A = 5.96$ km/s、 $n = 1.45$ である。 $\lambda_p = 1.55 \mu\text{m}$ 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. 研究方法

Fig. 2 に SBS 発生の実験配置図を示す。波長可変レーザー (RIO レーザー) には、波長 1530-1565 nm と可変で、23 dBm の最大出力を持つものを使用した。サーキュレーターを通してレーザー光源に戻る光がレーザー光源の故障の原因となるため、それを防ぐためにサーキュレーターとレーザーの間にアイソレーターを接続した。SBS は、

Low Noise External Cavity Semiconductor Lasers Using Induced Brillouin Scattering

Hiroyasu SUGIYAMA, Tomoya WADA, Yasuo MINAMI, Junia NOMURA and Atsushi ISHIZAWA

HNLF (高非線形ファイバー) 中で発生させる。SBS によって生じた光は Fig. 2 の赤線で示す方向に伝搬している。そして、HNLF 内で起きた SBS を 90/10 カプラーで分岐し、10 %ポートをレーザー光源から出たモニター光と 50/50 カプラーで混合して光ヘテロダイン干渉をフォトダイオード (PD) でバランス検出し、RF スペクトルアナライザーで計測した。

HNLF は、シングルモードファイバー(SMF)と比較してコアとクラッドとの比屈折率差が大きく、有効モード領域が小さいため、従来の SMF と同様の非線形特性を得るために必要なファイバーの長さを短縮できる[4]。

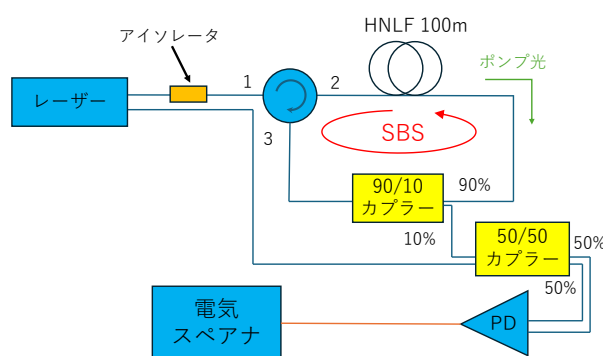


Fig. 2 SBS 発生の実験配置図

4. 研究結果

Fig. 3 は Fig. 2 の 90/10 カプラーの 10 %ポートから出てくる光強度の入射光強度依存性である。入射光強度を徐々に上げていったところ、16.9 dBm で急激に出力光強度パワーが大きくなることから SBS を発生させるのに必要な入射光強度は 16.9 dBm 以上であることがわかった。また、入射光強度を 16.8 dBm と 16.9 dBm にした時の SBS の様子を RF スペクトルアナライザーで計測した。その結果、入射光強度が 16.8 dBm の時は SBS が観測されなかったが、16.9 dBm の時は SBS が観測された。したがって、SBS 閾値は 16.9 dBm であることがわかった。

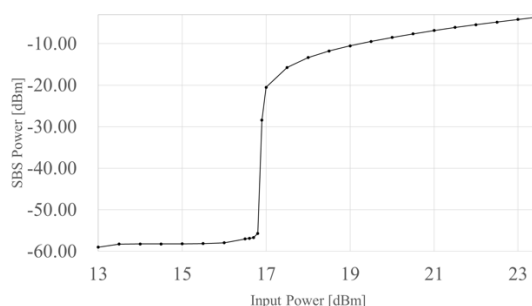


Fig. 3 出力光強度の入射光強度依存性

Fig. 4 にレーザー光源から出たモニター光と SBS 光を光ヘテロダイン計測した結果を示す。約 10.13 GHz で SBS 光が観測された。また、計測時に SBS の周波数に揺らぎがあった。これは、HNLF 内でモードホップをするためだと考察する。

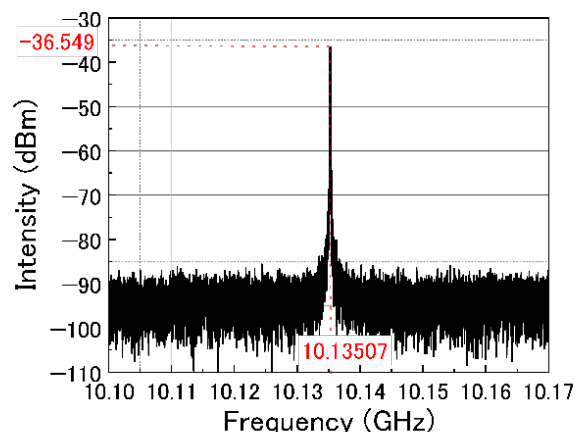


Fig. 4 SBS の波形

5. まとめと今後の展望

本研究では、半導体レーザーの誘導ブリルアン散乱光の性能評価をし、SBS は約 10.13 GHz に観測された。今後、HNLF を温度などに影響されにくい環境にしてモードホップの影響を抑制し、外部型半導体レーザーの出力を高い精度で安定化し、半導体レーザーの線幅の狭窄化を目指す。

6. 参考文献

- 1) A. Debut *et al.*: Linewidth narrowing in Brillouin lasers: Theoretical analysis, Phys. Rev. A, vol. 62, pp. 023803 (2021)
- 2) T. Tetsumoto *et al.*: Optically referenced 300 GHz millimetre-wave oscillator, Nat. Photon., vol. 22, no. 15, pp. 516-522 (2021)
- 3) S. Huang *et al.*: Tens of hertz narrow-linewidth laser based on stimulated Brillouin and Rayleigh scattering, Opt. Lett., vol. 42, no. 24, pp. 5286-5289 (2017)
- 4) H. Ahmad *et al.*: Ultra-narrow linewidth single longitudinal mode Brillouin fiber ring laser using highly nonlinear fiber, Las. Phys. Lett vol. 10, no. 10, 105105 (2013)