

平成 16 年度 卒業論文

全光ゲート内部の量子雑音発生モデルの研究

学籍番号 0112043

金子 智晃

電子工学科 光エレクトロニクス講座

指導教官 上野芳康 助教授

提出日 平成 17 年 2 月 28 日

概要

光を電気に変換せずに、全て光で通信を行う全光通信が研究されている。全光通信に用いる全光ゲート内部では量子雑音が発生する。量子雑音は幅広い波長域に現れ、信号波長近傍にも存在する。信号波長近傍以外での量子雑音は光波長フィルタによって除去できるが、信号波長近傍での量子雑音を除去することは難しい。この除去できない信号波長での量子雑音が SN 比劣化の原因となる。

本研究では量子雑音が全光ゲート動作に与える影響を調べる第一段階として、SOA 中の量子雑音の発生と増幅を理論解析し、SOA から出力される量子雑音の強度を計算した。

第1章	序論	1
第2章	本研究の背景	
2.1	現在の全光ゲートの研究	2
2.2	SOA 内部の量子雑音	2
2.3	全光ゲートシミュレータのモデル式	4
2.4	全光ゲートシミュレータ	6
2.5	過去の ASE の研究	7
第3章	本研究の目的と方法	
3.1	本研究の目的	9
3.2	本研究の理論解析方法	9
第4章	ASE 発生を考慮する前の SOA 分割理論解析モデルの妥当性の確認	
4.1	SOA 多分割プログラムと 1 分割プログラムの計算結果の比較	12
4.2	SOA 多分割プログラムと全光ゲートシミュレータの計算結果の比較	16
4.3	SOA 多分割プログラムと siegman のモデルの関係式の計算結果の比較	20
4.4	SOA 多分割プログラムの計算結果と測定値の比較	22
第5章	光未入力状態の SOA から出力される ASE 強度計算値の妥当性の確認	25
第6章	結論	29
	謝辞	30
	参考文献	31
付録	光未入力状態での SOA から出力される ASE 強度を計算するサブルーチン (SOA8 分割)	

第 1 章 序論

将来、電子商取引や電子政府への届け出など、情報通信ネットワークを利用する機会が現在よりもさらに増え、通信容量が増加することが予測される。各家庭では 150 Mb/s の通信速度が利用できるようになり、これを支えるために幹線では 10 Tb/s レベルの通信速度が必要になると予想されている。

現在の一般的な光通信の信号再生の際、光信号を電気信号に変換してから信号再生し、再生後の電気信号を光信号に変換している。この方式には電気と光の変換の際に半導体キャリア寿命などによる物理的限界が存在するため、通信速度が 40Gb/s に制限される。光信号を電気信号に変換することなく光のまま信号再生することが出来れば、通信速度を 40Gb/s よりも速くすることが可能である。そのため、光のみで信号再生する全光ゲートが研究されている。現在 160 GHz の全光ゲート動作が実証されている。[1]

全光ゲートには光の強度を増幅する半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)を利用している。その SOA 中では自然放出光が発生し、SOA 自身の光増幅作用により自然放出光の強度が増幅する。この増幅された自然放出光(Amplified Spontaneous Emission, ASE)が全光ゲート内部の量子雑音となる。ASE は幅広い波長域に現れ、信号波長近傍にも存在する。信号波長近傍以外での ASE は光波長フィルタによって除去できるが、信号波長近傍での ASE を除去することは難しい。この除去できない信号波長での ASE が SN 比劣化の原因となる。その影響を調べる第一段階として、SOA から出力される ASE の強度を計算する必要がある。本研究では SOA 中の平均過剰キャリア密度の時間的かつ空間的变化を考慮した、SOA 中の ASE の発生と増幅を理論解析し、SOA から出力される ASE の強度を計算した。

第2章 本研究の背景

2.1 現在の全光ゲートの研究

全光ゲートには光のエネルギーを増幅する SOA を利用するものがある。波長変換器 (Delayed Interferometer Signal-Wavelength Converter, DISC)はその1つである。

当研究室の全光ゲートの動作を計算機シミュレーションするためのプログラムでは、DISC ゲートと、対称マツハツェンダ型 (Symmetric Mach-Zehnder, SMZ) ゲートの動作解析が可能であった。但し、このプログラムでは全光ゲートの量子雑音の原因である ASE の影響を考慮していない。

2.2 SOA 内部の量子雑音

SOA は基本的には半導体レーザから共振器構造をなくしたもので、端面に無反射コーティングなどを施すことにより、光の強度を増幅出来る。広い利得スペクトルを持っているが、光ファイバとの結合が難しく、結合損失が大きいという欠点がある。そのため単なる光増幅器としてよりも、波長変換器などの光デバイスとして用いられることが多い。

図 2.2.1 に SOA へ入力した光の増幅前と増幅後のスペクトルを示した。増幅後は、増幅された入力光のスペクトルに加えて、広帯域なスペクトルが付加されている。これは SOA の内部で発生した ASE のスペクトルである。レーザから出た光はショット雑音が主な雑音要因であるが、光増幅器を通ると、その内部雑音である ASE 雑音がショット雑音を上回る。このため、光増幅器では一般に ASE 雑音が主な量子雑音要因となる。光増幅器の ASE 雑音は、光増幅に必ず伴う自然放出によるものなので、ゼロにすることは出来ない。[2]

結論

SOA 多分割プログラムを正しく作成したことを確認し、SOA の分割数は 8 分割が最適であることを見出した。その SOA 多分割プログラムに計算式を追加して、SOA に光を入力しないときに、SOA から出力される ASE 強度を理論解析により求めて測定値と比較した。計算結果は測定値と正確には一致しなかった。その原因は、ASE は本来広い波長域を持つが、計算では ASE の波長を全て 1550[nm]と仮定していたことにある。より測定に近い計算をするためには、ASE の波長成分の分布、波長の違いによる SOA の増幅作用の変化を考慮する必要がある。

謝辞

本研究を含む様々な面でのご指導をいただきました上野芳康助教授に深く感謝をいたします。大学院生の豊田さんには研究上の相談に乗って頂くとともに、発表時のスライド作成時には細やかな指導をして頂きました。卒研究生で僕と同様に理論解析を行った中本君にはプログラムについて相談したり、セミナーのセッティングを手伝ってもらいました。実験班の坂口さん、鈴木さん、大平君、小林君には実験のデータや、理論解析では分からない実験上の留意点を教えて頂きました。上野研の皆様に大変多くの助言、助力をいただいたことに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, "Nonlinear phase shifts induced by semiconductor optical amplifiers with control phases at repetition frequencies in the 40-160-GHz range for use in ultrahigh-speed all-optical signal processing," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 19, no. 11, pp. 2573-2589, Nov. (2002)
- [2] 山下 真司、「イラスト・図解 光ファイバ通信のしくみがわかる本」, 技術評論社 (2002)
- [3] Anthony E. Siegman, "Lasers," University Science Books, pp.362-372, January (1986)
- [4] Kenichiro Tsuji, Yasuo Sakuragi, and Masatoshi Saruwatari, "Analysis of XGM-Based Wavelength-Conversion Using ASE in SOAs," *OECC*, pp. 326-327, July 8-12, (2002)
- [5] 池上 徹彦、土屋 治彦、三上 修、「半導体フォトニクス工学」, コロナ社、(1995)
- [6] T.Durhuus, B.Mikkelsen, and K.E.Stubkjaer, "Detailed Dynamic Model for Semiconductor Optical Amplifiers and Their Crosstalk and Intermodulation Distortion," *Journal of lightwave technology*, vol.10, no.8, August (1992)
- [7] L.Deming, N.J.Hong, and L.Chao, "Wavelength Conversion Based on Cross-Gain Modulation of ASE Spectrum of SOA," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 12, no.9, September (2000)