一方向性光増幅器実現の為の基礎研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2020-03-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山田, 実, Yamada, Minoru メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00057180

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

KAKEN
2001
56

一方向性光増幅器実現の為の基礎研究

１２６５０３４０

平成１２年度～平成１３年度科学研究費補助金　基盤研究(C)(2)　研究成果報告書

平成 14 年 3 月

山田　　実

（金沢大学　工学部　教授）

金沢大学附属図書館
8011-05298-5

KAKEN
2001
56

はしがき

電子工学の発展は、遠距離にいる人と人の間の情報交換を可能にし、現在では、世界中がインターネットで結ばれるまでに至っている。そして、ＩＴ（Information Technology, 情報技術）革命と言われるまでに発展してきている。

その電子工学では、真空管やトランジスタなどの能動素子の開発が基となり進展してきた。これらの能動素子は、信号を増幅したりスイッチングを行う機能の他、信号を一方向（比可逆的）に伝搬させる「一方向性」の特性を有している。

一方、大量の情報を伝送したり記憶する技術として、光ファイバ通信や光ディスクなどの光エレクトロニクスが発展してきた。半導体レーザは光エレクトロニクスにおける中心的な能動素子である。しかし、素子内において前進波と後退波の両者を可逆的に増幅し、一方向性ではない。そのため、レンズ、光ファイバ、光ディスクなどの次段素子の表面で反射した戻り光がレーザに再入射するとレーザの動作が不安定になり過剰雑音を発生する。また、信号伝搬が可逆的であると、論理演算は原理的に不可能である。これまで幾たびか提唱されてきた「光集積回路」や「光コンピュータ」が夢でしかないのは、レーザが「可逆的」な能動素子である事に原因がある。

現在の電子工学において、マイクロ波より高い周波数領域には、一方向性の能動素子は存在しない。 本研究は、真空中を走行する電子ビームを用いた新構想の光増幅メカニズムによる一方向性光増幅器の開発を目的として、その基礎的実験を行ったものである。

研究組織

研究代表者 ： 山田　実　　（金沢大学工学部教授）
研究分担者 ：Jamshid Nayyer　（金沢大学工学部助教授）（平成 13 年 9 月 30 日に離職）
研究分担者 ：桑村　有司　　（金沢大学工学部講師）

交付決定額　　（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合　計
平成１２年度	2,700	0	2,700
平成１３年度	800	0	800
総　計	3,500	0	3,500

研　究　発　表

ア）学会誌等

(1) J.Nayyer, K.Niayesh and M.Yamada :Dynamic Characteristics of Optical Intersecting-Waveguide Modulators/Switches with Curved Electrodes", J. of Lightwave Technol, Vol.14, No.5, pp.693-699 (May, 2000)
(2) Y.Kuwamura, Y.Nishiuma and M.Yamada : "Design of a Surface-Illuminated-Type Semiconductor Optical Modulator with Multi-Quantum-Well Structures", Elrctron Commun Japan Part2, Vol.83, No.5, pp.28-39(May, 2000)
(3) T.Higashi, T.Yamamoto, T.Ishikawa,T.Fujii, H.Soda and M.Yamada : "Temperature dependence of gain characteristics in 1.3-μm AlGaInAs/InP strained multiple-quantum-well semiconductor lasers", IEICE Trans. Electron., Vol. E84-C, No.5, pp. 648-655, (May,2001)
(4) 山田実："一方向性光増幅器の試作", Telecom Frontier,No.12, pp. 29-32 （2001 年 8 月）
(5) M.Yamada, S.Yamamura and T.Okamoto," Characterization of the feedback induced noise in semiconductor laser under superposition of high frequency current", IEICE Trans. Electron, Vol.E84-C, No.10,pp. 1588-1596 (Oct. 2001)
(6) M.Ahmed, M.Yamada and M.Saito, "Numerical modeling of Intensity and phase noise in semiconductor lasers", IEEE J.Quantum Electron., Vol.37, No.12, pp. 1600-1610(Dec.2001)
(7) M.Ahmed, M.Yamada and S.Abdulrhmann, " A multimode imulation model of mode-competition low-frequency noise in semiconductor lasers", Fluctuation and Noise

著　者　寄贈

Letters, Vol.1, No.3, pp.L163-L170 (Dec.2001)
(8) M.Yamada, D.Kawasaki and H.Awabayashi, " Theoretical proposal of an optical detection system using DFB laser with a very small aperture", IEICE Trans. Electron., Vol.85-C (掲載予定)

イ）口頭発表
(1) J.Nayyer, T.Ueda and M.Yamada : "Effectiveness of electrode curvature in achieving polarization insensitive intersecting-wavegude type optical witch/modulators", CLEO/Europe, Nice, CTuk84, (Sept. 12,2000)
(2) J.Nayyer and M.Yamada : "Application of electrode curvature in loss-reduction of semiconductor-based intersecting-waveguide type optical switches/modulators", CLEO/Europe, Munich, C-NLP204 (June 20, 2001)
(3) M.Ahmed and M.Yamada :"Influence of the linewidth enhancement factor on modal operation of laser diodes", CLEO/Europe, Munich, C-PSL120 (June 20, 2001)
(4) M.Ahmed and M.Yamada : "Theoretical investigation of mode-competition noise in semiconductor lasers including asymmetric cross-saturation of gain", Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF 2001), Florida, pp.303-306 (Oct. 2001)
(5) S. Abdulrhmann, M.Ahmed and M.Yamada : "Numerical simulation of intensity and phase fluctuations in long-wavelength lasers", Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF 2001), Florida, pp.307-310 (Oct. 2001)
(6)桑村有司、木村智明、斎藤秀和、松浦康浩、山田実："真空中の電子ビームを用いた光増幅器実現への試み "、電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, LQE2000-1 (2000年5月)
(7)川崎大輔、粟林博文、山田実："極微小開口を持つ DFB レーザを用いた光検出方式の提案", 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, LQE2000-2 (2000年5月)
(8) M.Ahmed and M.Yamada,"半導体レーザにおけるモード・ホッピング現象の動作特性への影響", 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, LQE2001-4 (2001年5月)

ハ）印刷物
(1) 山田実、" 半導体レーザ入門（Ⅰ～Ⅲ）", 技術情報協会 2001年5月～7月
(2) 山田実," 光エレクトロニクス "、森北出版、2001年１２月

研 究 成 果

１．電子ビームによる光増幅器の構成と原理

提案している光増幅器の基本構造を図.1 に示す。電子銃からの電子ビームを電子レンズで絞り導波路表面に沿って走行させる。導波路はガラス基板上に a-Si を蒸着したもの、あるいは集積回路用の SOI 基板を用いた。光は Si 部分をコアとし、基板側と真空中に染み出して分布する。

真空中を伝搬する電子のエネルギーと波数の関係は図.2 の様な放物線状になる。入射してくる電子のエネルギー準位を b とすると、準位 a に遷移する場合、光の放射あるいは増幅が生ずる。この

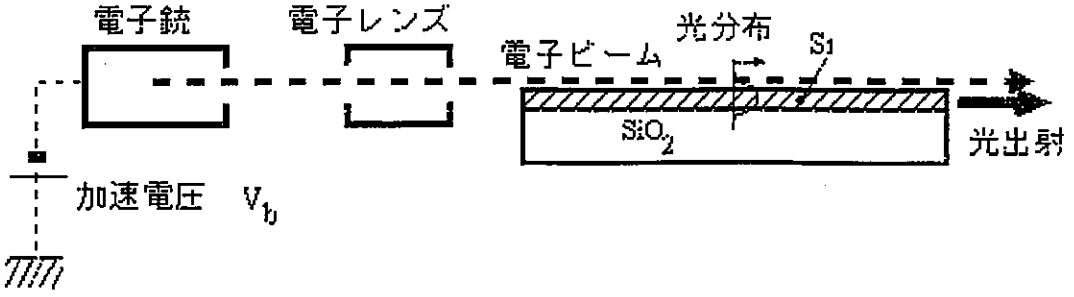

図１ 試作している一方向性光増幅器の構成図

時、光のエネルギーを$\hbar\omega$、伝搬定数をβをすると、電子のエネルギー差ΔEが$\hbar\omega$と波数差Δkがβになった時、相互作用が生ずる。ω/βは光の位相速度であり、$\Delta E/\hbar\Delta k$は電子の群速度である。また、電子運動は光の電界成分と相互作用する。従って、

I) 電子の群速度と光の位相速度を一致させる。

II)電子の進行方向に光の電界成分を存在させる。

が電子と光が相互作用する必要条件である。

一方、電子は準位bからcへ遷移し、光を吸収して電子がエネルギーを増加させる場合もある。光増幅（bからaへの遷移）と、光吸収（bからcへの遷移）の違いは、放物線状関数と線形関数との差で定まり、電子加速電圧Vbや導波路における光伝搬定数βの波長に依存した特性となる。

また、電子ビームの進行方向に電界成分を持つ必要があることから、導波モードの内でTM波は相互作用するが、TE波はしないはずである。

密度行列の手法を電子および光の進行波に適用した解析から、光増幅の利得係数は

$$g=\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\frac{eJ\ell}{n_{eff}\hbar\omega}\xi D \qquad (1)$$

と導出されている。ここで、Jは電子ビームの電流密度、ℓは電子ビームと光との相互作用長、ξは電子ビームと光が進行方向に垂直な断面で交差している割合、D は光増幅(0<D<1)と光吸収(-1<D<0) との違いを示す分散関数である。図3は誘導放出に対する分散関数の計算例である。一方、図 4 には屈折率が1/3.4/1.5 の導波路での TM 基本モードにおける電子加速電圧 Vb と利得のピーク波長の関係をコア層厚 d をパラメータとして示した。

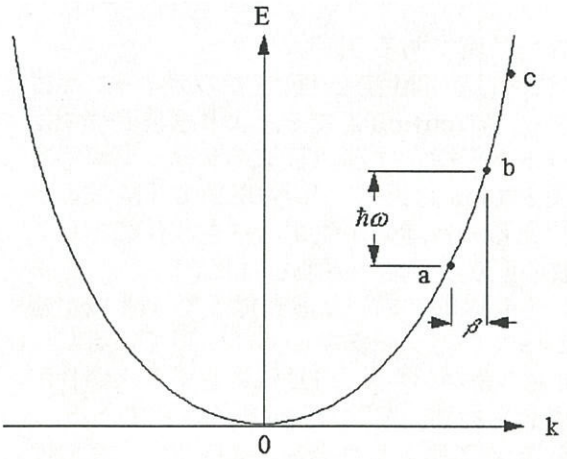

図２　走行する電子のエネルギー分散

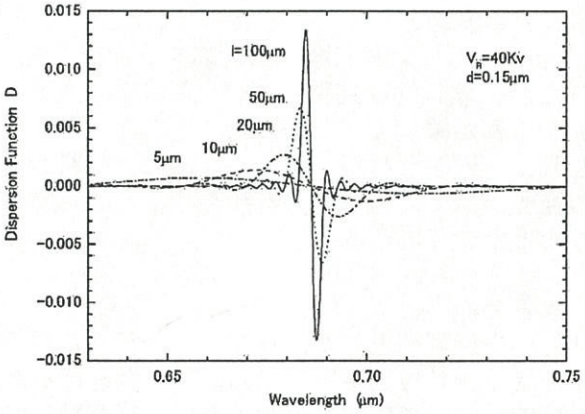

図３　分散関数Ｄの波長依存性

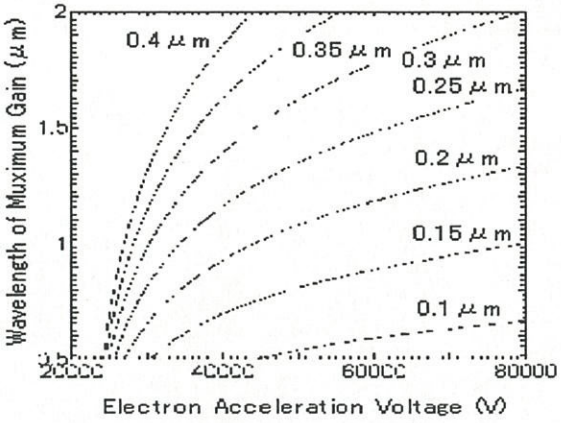

図４ 利得最大となる波長の加速電圧依存性

２．光発生および光増幅の基礎実験

本来、光増幅器としては光入射端が必要であるが、現在までは図.1 の構成の様に、入射端を設けず、導波路中で発生した光が増幅されて出力されるかどうかを観測している。電子銃としてはR-HEED用電子銃を用い、電子加速電圧20KV～50KV、電子ビーム電流数十μA程度である。電子銃から放射される電子ビーム径は100μm以上あり、これを電子レンズで10μm程度（推定）に絞っている。従って、電流密度は$10^5 A/m^2$程度である。

導波路出力端を真空装置の View port 側に置き真空チャンバーの外側から、光出射の様子や偏波方向やおよび波長スペクトルを観測した。

層厚0.18μmで導波路長3mmのa-Siをコア層として場合に、導波路端から出射された光の写真を図5に示す。また、出射光の波長スペクトルを図6に示す。

a-Siがコア層の導波路の場合、材料であるa-SiあるいはSiO_2が電子ビームにより発光し、それが減衰しながら導波されていると思われる。材料からの発光はTM波とTE波

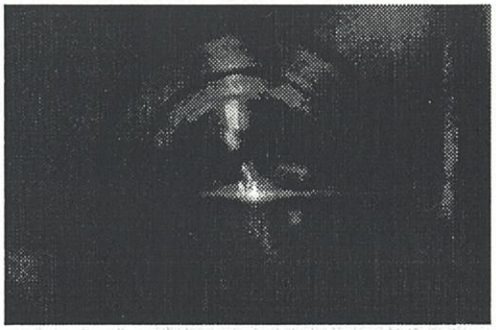

図５　光導波路からの発光

でほぼ同じ値であろう。
Fig.6 における TM 波と TE 波でのディップ点は、高次モードの cut-off 点でそれより短波長側では次モードが伝搬される。TE 波のディップ点がある波長 820nm 付近は、Vb=40KV で TM 波の自然放出あるいは増幅が生ずるべき波長であり、TM 波の盛り上がりが観測された。

他にも理論的に求めた波長付近で TM 波が盛り上がっているデータをいくつか得ているが、TE 波との差が小さく、TE 波にも盛り上がりがある場合もあり、実験の条件を検討中である。

a-Si をコア層とした場合、光吸収が大きいので、単結晶 Si がコア層となる集積回路用の SOI 試料（上側 Si コア層厚 0.32μm、SiO_2 層厚 1μm）を導波路として実験を行った。SOI 試料の場合には、バンド端遷移に対応する発光が見られたが、理論的に期待していた禁制帯内での発光や増幅が観測できなかった.

これは、透明な材料を用いたために、材料からの発光が無く、光導波の有無や増幅を確認できなかったのであろう。

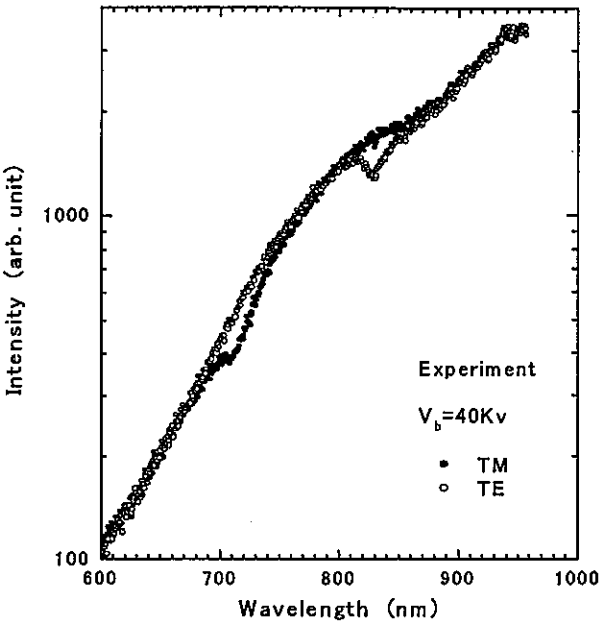

図６ a-Si をコア層とした導波路での光出力

５．まとめ

新しい光増幅器として、真空中を走行する電子ビームにより、誘電体導波路中の光を増幅する原理を提案し、光放出や光増幅の基礎実験を行った。a-Si をコア層とした実験では、材料自身からの発光に、提案している原理での発光や増幅が重畳している事が観測され、波長特性や電圧依存性などは理論解析とほぼ一致している。しかし、光吸収の少ないＳＯＩ基板を導波路とした実験では、まだ光放出や増幅を確認する事が出来なかった。外部から光を入射させて増幅する実験については、入射光用の導波路の試作を始めた段階であり、実際に増幅させる実験にまでは至らなかった。