

工学博士西沢潤一君の「半導体及びトランジスタに関する

研究」に対する授賞審査要旨

西沢潤一君の研究は、トランジスタが発表された昭和二三年に大学を卒業してから今日まで、約二五年に亘るもので、その特徴は学術的理解と工学的応用とを結び合わせて新しい展開を見出していることにある。その研究は何れも半導体に関係したもので初期においては渡辺寧東北大学名誉教授の指導下に行われ、今日新幹線などに活用されている耐電圧性の高い p-n-p (p は正の電荷、 n は負の電荷の領域を示し、 i は不純物の殆どない p でも n でもない高抵抗半導体の領域) ダイオードをはじめて提案し、最近盛んに用いられたイオン注入法を開拓するなど大電力用半導体の研究を進め、また当時、音響周波用ぐらいと考えられていたトランジスタを高周波にも使えるような pnip 型にするなど初期にはむしろ主として工学的研究から出発している。渡辺名誉教授が東北大学を去った後もその成果を発展させるとともに完全結晶に関する研究を行いこれと結び合わせることによって、西沢君が昭和二五年提案しておいた新しい FET 型 (電界効果) トランジスタを試作し、電力用真空管やマグネトロン真空管に匹敵するトランジスタを実現した。

また、昭和三二年半導体によって今日言うレーザが実現可能であることを発表し、ノーベル物理学賞を授けられたパソフ博士らの世界最初の実現にはおくれをとったが、その動作速度や応用方法に関しては今日言うオプトエレクト

ロニクスの重要部分に関し数多くの新しい提案を行った。更に光信号を伝送する集束性硝子ファイバ（中を通る光が中心に集まるように中心の屈折率が大きくしてある硝子の細線）を開発するなどいくつかの重要な方法を提案し、光による通信を大きく進展させた。

これらの成果のうち、 p-n-p ダイオードは全世界で広く日常生活にまで用いられており、昨今通信や集積回路に用いられているトランジスタはすべて p-n-p 型であるといってもよく、イオン注入法其の他はベル研究所をはじめ多くの研究機関と生産機関で活用されており、また集束性硝子ファイバ新しい F-P-T 型トランジスタは純国産技術として工業生産が開始されている。などその工業上の貢献も甚だ大きい。その業績を大別して要約すると次のようになる。

一、研究内容

(一) 大電力用半導体素子の研究

ショックレイは昭和二四年に p-n 接合の理論を発表したが、当時は、まだ接触電位差だけを考慮していたので高周波用整流器は点接触型のものだけであった。西沢君はまず、高周波用整流器は p-n 接合化しなければ特性がよくなるないことを指摘し、その方法を提案した(1)。つづいて西沢君は「イオン注入法」をも発見した(2)が、この方法は面接触型の整流器にも応用できるものである。また大電圧、大電流で使える整流器を作るには不純物含有量の少い薄い層領域を半導体結晶の中に作り込むのが最もよいことを提案した(3)。この提案は米国ゼネラルエレクトリック社より十日程早く、イオン注入法と共に我国半導体工業の発展に寄与した効果は甚だ大きい。さらに電子や正孔が強い電界の中を走ると電離を起すことを世界で最も早く予測しており(4)、また最近では、従来よく使われてきた金のような材料が

整流器の特性を著しく損うことがあることを示して、いわゆる深い不純物準位の研究に端緒を開いており(5)、その測定法として光を当てながらダイオードのもつ静電容量を測定するやりかたをはじめて開発した。この方法も極く最近になって急速に広く使われはじめている。

(二) 高周波トランジスタに関する研究

西沢君は前項と同様な層領域を半導体結晶の中に作り込むことは高周波特性をも向上させることを指摘した。これらの貢献に対しては既に昭和四一年恩賜発明賞が授賞されている。さらに西沢君はトランジスタを応用するに当って重要な等価回路の研究を行ってT型と混成 π 型といわれる表現法が最も優れていることを示して今日の標準をきめる上に大きな影響を与えている(6)。また、トランジスタの面積はどういう条件から決めなければならないのかを解明し、出来上がったトランジスタが適正か否かを高周波インピーダンスを外部から測るだけで知る方法などを提案した(7)。これらも広い範囲で応用されておる。

さらに、西沢君は分布容量の大きな半導体では分布定数型構造や定K型構造が重要なことを逸早く注目し(8)、研究を行っている(9)。この研究は後にのべる最近のマグネトロン真空管に匹敵するトランジスタの実現にまで発展した。

(三) 完全結晶技術に関する研究

西沢君らが最初に完全結晶技術に関する研究発表を行ったのは、昭和二八年のことで(10)、当時既にシリコンやゲルマニウムに四族の他の元素を混合すると結晶の完全性がますますを見つけている。米国では昭和四〇年になって漸く同様な研究発表が行われた。

また、結晶引き上げ法(11)、気相成長法(12)、不純物拡散法(13)、について研究を行った。当時は勿論昭和四六年頃まで結晶は完全でない方がよいとされて来たが、西沢君はその常識に逆って完全な結晶で半導体素子を作る研究を基礎的に進めて来た。この成果は昭和四七年頃から重要性が認識されるに至った。特に結晶に不純物が入ると部分的に結晶格子がのびちぢみすることを確かめ(14)、逆に他の無害な原子を使って補償することを提案し、従来考えられなかったぐらゐの多量の不純物が混入しておつても完全に欠陥のない半導体結晶をつくりうることを示した。

四 新しい半導体素子の研究

西沢君は昭和二五年、新しいトランジスタを提案するとともに(15)、半導体中の空間電荷伝導による理論を発表した(16)。ショックレイ博士はその二年後に同じトランジスタをアナログ型と名付けて発表した。当時これを作り出す能力はどこにもなかったが、西沢君は完全結晶技術の研究によってこれをも可能にした。

現在用いられているトランジスタの二種類のうちの一つである EBJ 型トランジスタは長い間ショックレイ博士の理論に従つて考えられてきたが、それが不充分であることは気づかれなかった。先ず、西沢君はショックレイ博士の理論が不充分である範囲では EBJ 型トランジスタはどんな風にはたらいしているかを実験的に測定し(17)、その結果に基づいて全く異なった考え方で説明しなければならぬことを明らかにし、また、どのように作れば特性はどうなるかをはっきり関係づけ、アナログ型と EBJ 型のトランジスタのちがいが内部の直列抵抗による負帰還であることを明白にし、試作を行った。その結果、全く試作されたことのなかったアナログ型トランジスタが確実に作られるようになった。その特性はショックレイ博士が予想した特性とは全く異なっていることも明らかになった(18)。

すなわち、現在使われているトランジスタが電流飽和型といわれる特性であるのに反し全く逆の特性を持ったトランジスタが出来たことになり、応用上の便利もさることながら、高周波特性も良く、これに完全結晶技術を応用すると非常に大面積ができるので、大電力のものの製作が可能となり、また前にのべた分布定数数型及び定型構造にするマイクロ波用大電力のものが得られることが明らかになった⁽¹⁸⁾。

西沢君の新しい半導体素子の提案はこの他にも、半導体インダクタンス⁽¹⁹⁾、可変容量ダイオード⁽²⁰⁾、人間の神経せんと同じはたらきをするニューリスト⁽²¹⁾など数多くあるが、注目すべきものの一つに、マイクロ波を発生するトンネル注入ダイオードがあり、六ボルト加えるだけで二〇〇GHzという高い周波数で発振するものが出来ている⁽²²⁾。これらは何れも基礎的研究の結果に基づいて予想され作られたものである⁽²³⁾。

(四) オプトエレクトロニクスと光通信に関する研究

ソ連のレベデフ研究所副所長バソフ博士は昭和三七年にはじめて半導体レーザを試作し、その功績によって協同研究者と共にノーベル物理学賞をうけた。しかし、西沢君らはこの半導体レーザダイオードは既にその五年前に提案しており⁽²⁴⁾、相当の努力を払ったにも拘わらず先んじて実現することは出来なかったとはいえ、その動作速度はレーザダイオードの大きさによってきまり、小さくすればする程早く動作することを明らかにして⁽²⁵⁾、実際に一〇⁻¹⁰秒という短かい時間で働らくことを示した⁽²⁶⁾。さらに、これは非常に重要な結果であるが、光をレーザダイオードに当てると他に出ていた光のつよさが変る新現象を見つけ、それを応用して最も高速で効率も高い光計算機を作ることができると示した⁽²⁷⁾。

また、オプトエレクトロニクスという考えかたは昭和三十一年ボヘミア人のレーブナー博士によって提案されていたが、西沢君は僅か二年後の昭和三十三年、これと独立に遙かに優れた方法を提案した²⁸⁾。つまりレーザをも含めオプトエレクトロニクスの非常に重要な部分について世界で最も早い時期に提案し研究を開始したのである。

さらに、光を使った通信も最近重要視されてきているが、西沢君はその光を伝える一〇ミクロンというような細い硝子線で、沢山の通信を短時間に伝えるには光が中心部に集まるような構造のものが最もよいことを示し²⁹⁾、この試作を大阪工業技術試験所の協力によって行い³⁰⁾、さらに損失の少ない薄膜型等³¹⁾³²⁾、いわゆる集束性光伝送路を試作し研究している。

四 関連基礎研究

また西沢君は非常に高い周波数の出るダイオードの研究³³⁾から大きなエネルギーを持った電子や正孔の拡散の研究を開始し昭和四〇年高速度の電子と正孔の拡散係数の測定結果を発表し³³⁾、さらにその頃研究されはじめたガンダイオードで超音波が出ている筈であるとして実測の結果三方向の成分を持った横偏波を見出した³⁴⁾。これらは何れも世界で最初の業績でありその後約五年以上経過してから漸く他の研究者が同様の結果を報告している。

しかし、西沢君の業績のうち基礎的方面で最も評価されるべきは組成のずれた化合物半導体の特性の研究とシリコンを中心とした結晶の成長機構の研究である。前者はGaAs, GaPを中心として行っており、高温において、各々砒素、燐素を変えることによって特性がどう変化するかを示し、その機構を明らかにした³⁵⁾。同様の研究は水銀テルルについても行っている。これから蒸気圧制御温度差法という新しい結晶成長法を發展させている。この成果は前述の

完全結晶技術と結びつけられ、既に半導体レーザなどの試作などにも応用されている³⁶⁾。後者のシリコンの結晶成長の機構についても表面に吸着したクラスターが泳動しながら固定されてゆくという過程を観測した³⁷⁾³⁸⁾。

要するに西沢君は、半導体に関する応用研究から出発し、これに基礎的考察を加えて研究を進めるといふ手法によっており、関連派生した基礎研究としても、五年以上も他の研究機関乃至研究者の研究よりも早く行っており、工学的研究としては、一〇年、二〇年も早く提案を行っている場合が多く、半導体に関する学術の向上と工業の発展に資するところ誠に多大である。

主要な著書論文目録

(一) 主なる著書

- 1 半導体装置 (近代科学社(一九六一))
- 2 半導体材料学(共著者宮本) 近代科学者(一九六八)
- 3 半導体研究 第一巻 第六章 トランジスタの構造と等価回路定数 産報(一九六六)
- 4 半導体研究 第二巻 第二章 エサキダイオードの特性と長波長レーザ 産報(一九六七)
- 5 半導体研究 第四巻 特別寄稿一、光照射気相エピタキシャル法(共著者熊川・寺崎・角南) 工業調査会(一九六九)
- 6 半導体研究 第四巻 特別寄稿二、シリコンの気相成長層における積層欠陥の構造(共著者角南) 工業調査会(一九六九)
- 7 半導体研究 第六巻 特別寄稿二、トンネル効果注入による走行時間発振(共著者岡部) 工業調査会(一九七〇)
- 8 半導体研究第七巻特別寄稿一、GaAsの熱処理効果—化学量論性からのずれについて—工業調査会(一九七二)

9 半導体研究 第八卷 特別寄稿1、Photocapacitometry Analysis of Deep Center in p-n Junction (共著者 酒井・角張) 工業調査会 (一九七二)

10 オプトエレクトロニクス 共立出版 (近刊)

(二) 主なる論文

研究内容に対応した番号を附して列記すると次のとおりである。

(1) 渡辺寧・西沢潤一・島貫良一 結晶整流器に関する研究 第一報 電気学会誌七一、五五(一九五一)

渡辺寧・西沢潤一・佐藤太伸 結晶整流器に関する研究 第二報 電気学会論文集四、一〇〇(一九五二)

渡辺寧・西沢潤一・佐藤太伸・千葉作富郎 結晶整流器に関する研究 第三報 電気学会論文集四、一〇五(一九五二)

渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (I) 物性論研究 三一号、七〇(一九五〇)

渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (II) 物性論研究 三三号、七九(一九五〇)

渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (III) 物性論研究 三四号、一七(一九五〇)

渡辺寧・西沢潤一・吉田善三 半導体の整流機構について (IV) 物性論研究 四一号、九六(一九五一)

渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (V) 物性論研究 四一号、一〇七(一九五一)

(2) 渡辺寧・西沢潤一・佐藤太伸・千葉作富郎 結晶整流器に関する研究 第三報 電気学会論文集 四、一〇(一九五二)

渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (II) 物性論研究 三三号、七九(一九五〇)

(3) 渡辺寧・西沢潤一 結晶整流器に関する研究 第二報 電気学会論文集四、一〇〇(一九五二)

渡辺寧・西沢潤一・佐藤太伸・千葉作富郎 結晶整流器に関する研究 第三報 電気学会論文集 四、一〇七(一九五二)

(4) 渡辺寧・西沢潤一 半導体整流器逆方向特性について 東北大学電通談話会記録 二一、三三、三七(一九五二)

- 渡辺寧・西沢潤一・金井康夫 半導体表面の逆転層と金井増幅器の増幅機構 東北大学電通談話会記録二一、三号、四一(一九五二)
- (5) 渡辺寧・西沢潤一 半導体整流器逆方向特性について 東北大学電通談話会記録二一、三号、三七(一九五二)
 伊藤彰彦・助川徳三・木村親夫・西沢潤一 深い不純物準位を有するPN接合(2) 電通学会半導体トランジスタ研究会資料 資料番号 SSD 68-20(一九六八)
- A. Itoh, C. Kimura, T. Sukegawa, J. Nishizawa: Capacitometry and Photocapacitometry Analysis of Deep Impurity Levels. RIEC. Tech. Rep. Tohoku Univ., No. TR-32 (1969).
- C. Kimura, J. Nishizawa: Measurements of Internal Parameters of a Microplasma. Japan. J. Appl. Phys., 5, 369 (1966).
- C. Kimura, J. Nishizawa: Turn-on Mechanism of a Microplasma. Japan. J. Appl. Phys., 7, 1453 (1968).
- 奥野保男・須藤建・西沢潤一 GaP 中の深い準位 電通学会半導体トランジスタ研究会資料 資料番号 SSD 70-23(一九七〇)
- Y. Okuno, K. Suto, J. Nishizawa: Deep Level in GaP. J. Appl. Phys., 44, 832 (1973).
- M. Kimura, J. Nishizawa: Phototunnel Conductance effect in GaAs $p-n$ and MIS junctions. J. Appl. Phys., 44, 4683 (1973).
- (6) 西沢潤一 接合形トランジスタの高周波入力インピーダンスと最大面積、ヘイス抵抗・エミッタシャ断 電氣通信学会雑誌 四四、七六七(一九六一)
- 西沢潤一・渡辺寧 ミラー効果によるトランジスタ定数の測定 電氣通信学会雑誌 四四、一〇七七(一九六一)
- 西沢潤一・庄司仙治・林美博・渡辺勇・北沢文治 トランジスタエミッタ接地パラメータの寄生インピーダンスによる影響 電通学会トランジスタ研究専門委員会資料(一九六一、一〇月・一九六二、一月)

- 西沢潤一・庄司仙治・渡辺寧・北沢文治 トランジスタ・ベース抵抗の測定について 特にベースシャ断（エミッタシャ断）の影響 電通学会誌 四五、一一九二（一九六二）
- 阿部惇・西沢潤一 π 型等価回路の周波数依存性について 電気学会トランジスタ専門委員会資料（一九六三十一月）
- A. Abe, J. Nishizawa: Frequency Variations of π -equivalent Circuit Parameters of a Junction Transistor. International Jour. Electronics, 20, 329 (1966).
- A. Abe, J. Nishizawa: Travelling-wave Field-effect Transistors. International Jour. Electronics, 21, 153 (1966).
- (7) 西沢潤一 接合形トランジスタの高周波入力カインピーダンスと最大面積、ベース抵抗・エミッタシャ断 電通学会誌 四四、七六七（一九六一）
- 西沢潤一・渡辺寧 ミラー効果によるトランジスタ定数の測定 電通学会誌 四四、一〇七七（一九六一）
- 西沢潤一・庄司仙治・渡辺勇・北沢文治 トランジスタ・ベース抵抗の測定について 特にベースシャ断（エミッタシャ断）の影響 電通学会誌 四五、一一九二（一九六二）
- (8) 渡辺寧・西沢潤一 トランジスタ高周波信号変換増幅装置 特許第二四六四三八号
- 渡辺寧・西沢潤一・山本達夫・清水東 分布定数型半導体ダイオードによる広帯域パラメトリック増幅について 電通学会マイクロ波真空管専門委員会資料（一九六〇、一月）
- (9) 土屋真太郎・清水東・西沢潤一 分布型江崎ダイオード増幅器 東北大学電通談話会記録 三〇、三号、九（一九六一）
- 土屋真太郎・清水東・西沢潤一 分布型江崎ダイオード増幅器 トランジスタの研究 二六（一九六一）
- A. Abe, J. Nishizawa: Travelling-wave Field-effect Transistors. International Jour. Electronics, 21, 153 (1966).

- (10) 渡辺寧・西沢潤一・昆秀雄・池上恒雄・松島知夫 硅素の溶解について (I) 東北大学電通談話会記録 二
一、四号 一〇一(一九五三)
- (11) N. Miyamoto, J. Nishizawa: Dislocations in Single Crystals of Silicon Grown by the Floating Zone Method. *Scien. Rep. Res. Ins. Tohoku Univ.*, B (Elect. Comm.), 15, 13 (1963).
- (12) J. Nishizawa, T. Terasaki, K. Yagi, N. Miyamoto: Effects of Substrate on the Dislocation Density in Silicon. *Seoul Inter. Conf. on Electrical and Electronics Engineers* (Sep. 1970) Seoul.
- (13) K. Yagi, N. Miyamoto, J. Nishizawa: Anomalous Diffusion of Phosphorus into Silicon. *Japan. J. Appl. Phys.*, 9, 246 (1970).
- (14) J. Nishizawa, K. Yagi, T. Terasaki, N. Miyamoto: Perfect Crystal Growth in Vapor Deposition of Silicon. *Jour. Electrochemical Soc.*, to be published
- (15) 渡辺寧・西沢潤一 高抵抗薄層領域を有する半導体光電変換器 特許第二二二二二八号
渡辺寧・西沢潤一 高抵抗領域を有する半導体器具 特許第二〇五〇六八号
- (16) 渡辺寧・西沢潤一・吉田善三 半導体の整流機構について (IV) 物性論研究 四一号、九六(一九五二)
渡辺寧・西沢潤一 半導体の整流機構について (V) 物性論研究 四一号、一〇七(一九五二)
渡辺寧・西沢潤一・吉田善三 半導体整流器の整流機構と条件 電気三学会第二五回連合大会 一三二(一九五二、五月)
- (17) H. Tango, J. Nishizawa: Potential, Field and Carrier Distribution in the Channel of Junction Field-Effect Transistors. *Solid State Electronics*, 13, 139 (1970).
- (18) J. Nishizawa, T. Terasaki, Z. Shibata: A Low Impedance Field Effect Transistor. 1972 International Electron Devices Meeting (Dec. 1972) Washington, D.C.
J. Nishizawa, T. Terasaki, Z. Shibata: New Exploitation of Field Effect Transistor. 1973 European

Solid State Devices Research Conference (Sep. 1973) Munich.

J. Nishizawa, T. Terasaki, Z. Shibata: Field Effect Transistor and Analog Transistor. Tech. Rep. Res. Inst. Elec. Comm. Tohoku Univ. TR-36 (1973).

(19) J. Nishizawa, S. Iwasa, Y. Watanabe: Simplified Theory on the Inductive Impedance of $p-n$ Junction. Scien. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., 10, 45 (1958).

J. Nishizawa, Y. Watanabe: Semiconductor Inductance Diode. Proc. Solid-State Circuit Conference (Feb., 1960).

庄司仙治・西沢潤一・渡辺寧 リアクトランスダイオード 電通学会トランジスタ研究会資料(一九六〇、五月)
 舛岡富士雄・北村昌良・西沢潤一 複合リアクトランスダイオードの解析 電通学会論文誌〇 五三、二七一
 (一九七〇)

村瀬嘉夫・西沢潤一 帰還形リアクトランスダイオード並列共振素子として—電通学会論文誌〇 五三、三七
 八(一九七〇)

西沢潤一・小島敬基・米山隆夫 半導体によるマイナスLとマイナスCについて 電通学会トランジスタ研究
 専門委員会資料(一九六〇、十月)

(20) 山本達夫・西沢潤一・内田英成・渡辺寧 能率の高い可変容量ダイオード—合金拡散法と分布定数型 電気通
 信学会全国大会講演(一九五九、四月)

A. Shimizu, J. Nishizawa: Alloy-Diffused Variable Capacitance Diode with Large Figure-of-Merit. IRE
 Trans. ED, 8, 370 (1961).

T. Sukegawa, K. Fujikawa, J. Nishizawa: Silicon Alloy-Diffused Variable Capacitance Diode. Solid
 State Electronics, 6, 1 (1963).

T. Sukegawa, T. Sakurai, J. Nishizawa: A Design Method for Variable-Capacitance Diodes with an

- m -th Power Characteristic for a Wide Voltage Range. IEEE Trans. ED, 13, 988 (1966).
- 早坂昭夫・西沢潤一 分布形トサキモノードの特性 電通学会誌 四九' 一五二九 (一九六六)
- ㉑ J. Nishizawa, A. Hayasaka : Two-line neuristor with active element in series and in parallel. International Jour. Electronics, 26, 437(1969).
- B.M. Wilamowski, H. Yokokawa, J. Nishizawa : Neurist propagation in low impedance line. International Jour. Electronics, 29, 101(1970).
- A.J. Cote Jr. : The Search for the Robots (1967).
- ㉒ T. Okabe, S. Takamiya, K. Okamoto, J. Nishizawa : Bulk Oscillation by Tunnel Injection. Tech. Rep. Res. Inst. Elec. Comm., TR-31(1968).
- T. Okabe, S. Takamiya, K. Okamoto, J. Nishizawa : Bulk Oscillation by Tunnel Injection. 1968 International Electron Devices Meeting IEEE (Oct. 1968) Washington, D.C.
- J. Nishizawa, T. Ohmi : Millimeter-Wave Oscillations of Tunnel Injection Transit-Time (Tunnel) Diodes. 1973 European Microwave Conference, (Sep. 1973) Brussels.
- ㉓ J. Nishizawa Y. Watanabe : High Frequency Properties of the Avalancheing Negative Resistance Diode. Science Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., B (Elec. Comm.) 10, 91(1958).
- ㉔ 坂本 謙・岡本 豊一 半導体エーサー 特許雑誌 1123111 1123112
- ㉕ S. Takamiya, F. Kitasawa, J. Nishizawa : Amplitude Modulation of Diode Laser Light in Millimeter-Wave Region. Proc. IEEE, 56, 135(1968).
- J. Nishizawa : Recombination Lifetime in a Semiconductor Laser Diode. IEEE Jour. Quantum Electronics, 4, 143(1968).
- ㉖ S. Takamiya, F. Kitasawa, J. Nishizawa : Amplitude Modulation Diode Laser Light in Millimeter-Wave

- Region. Proc. IEEE, **56**, 135(1968).
- ㉒ J. Nishizawa: Interaction of Light Beams in Semiconductor Laser Diode. 1973 International Conference on Solid State Devices in Tokyo (Aug. 1973).
- ㉓ J. Nishizawa: Integrated Optics Through the Population of Injected Carriers. Invited Talk in 2nd Topical Conference in Integrated Optics (Jan. 1974).
- ㉔ 西沢 謙一 特許第 479, 166 号
西沢 謙一 半導体トランジスタの電流増幅作用の増強のための共振回路の形成 特許第 479, 1110 号
- ㉕ S. Kawakami, J. Nishizawa: Propagation Loss in a Distributed Beam Waveguide. Proc. IEEE, **53**, 2148 (1965).
- ㉖ S. Kawakami, J. Nishizawa: Kinetics of an Optical Wave Packet in a Lens-like Medium. Jour. Appl. Phys., **38**, 4807(1967).
- ㉗ S. Kawakami, J. Nishizawa: An Optical Waveguide with the Optimum Distribution of the Refractive Index with Reference to Waveform Distortion. IEEE Trans. MTT, **16**, 814(1968).
- ㉘ S. Kawakami, J. Nishizawa: A Cylindrical or Thin Film Waveguide with Focusing Properties at Optical Frequencies. 1969 European Microwave Conference (Sep. 1969), London.
- ㉙ S. Kawakami, J. Nishizawa: A Cylindrical or Thin Film Waveguide with Focusing Properties at Optical Frequencies. 1969 European Microwave Conference (Sep. 1969), London.
- ㉚ J. Nishizawa, A. Otsuka: Solidstate Self-focusing Surface Waveguide (Microguide). Appl. Phys. Letters, **21**, 48(1972).
- ㉛ J. Nishizawa, A. Otsuka: Optical Waveguide By Solid State Diffusion. 1973 European Microwave Conference (Sep. 1973), Brussels.

- J. Nishizawa, A. Otsuka: Focusing Diffused Waveguides. *Opto-Electronics*, **5**, 309(1973).
- J. Nishizawa: Focusing-Type Integrated Optics. Invited talk in Symposium of Acoustic and Optical Micro Electronics (Apr. 1974), Polytechnic Institute of Brooklyn.
- ㉔ K. Okamoto, J. Nishizawa, K. Takahashi: Measurement of Hot Carrier Diffusion Constant in Semiconductors. *Jour. Appl. Phys.*, **36**, 3716 (1965).
- K. Okamoto, J. Nishizawa, K. Takahashi: Measurements of the Diffusion Constant of Carriers in a Semiconductor in the Strong Electric Field. *Tech. Rep. Res. Inst. Elec. Comm.*, TR-3 (1964).
- K. Okamoto, J. Nishizawa: Traseit-Time Effects in Semiconductors. *Solid State Electronics*, **9**, 97 (1966).
- ㉕ K. Okamoto, H. Ishikawa, J. Nishizawa: Ultrasonic Wave Generation in Oscillating-GaAs. *Tech. Rep. Res. Inst. Elec. Comm. Tohoku Univ.*, TR-22 (1967).
- ㉖ J. Nishizawa, H. Otsuka, S. Yamakoshi, K. Ishida: Nonstoichiometry of Te-Doped GaAs. *Japan. J. Appl. Phys.*, **13**, 46 (1974).
- J. Nishizawa and Y. Okuno: Heat Treatment of Gallium Phosphide. *Solid State Communications*, to be published.
- ㉗ J. Nishizawa, S. Shinozaki, K. Ishida: Properties of Sn-doped GaAs. *Jour. Appl. Phys.*, **44**, 1638(1973).
- ㉘ 西沢 謙一 半導体レーザーの性能向上 応用物理 四一 九一一 (一九七二)
- ㉙ J. Nishizawa, T. Terasaki, M. Shimbo: Layer Growth in Si Epitaxy. *Jour. Crystal Growth*, **13-14**, 297 (1972).
- ㉚ J. Nishizawa, T. Terasaki, M. Shimbo: Silicon Epitaxial Growth. *Jour. Crystal Growth*, **17**, 241 (1972).
- ㉛ J. Nishizawa: Silicon Crystal Growth by Chemical Deposition, 1972 NCCG-4 (1972).