

西澤テラヘルツプロジェクトの研究成果

目次

1. THz 帯ショットキ・ダイオード	2
2. 準光学的発振器	4
3. 半導体ラマンレーザ	5
4. ドライエッチング方法	7
5. 金属分子層堆積	8
6. 化合物結晶の分子層エピタキシャル成長及びドーピング	10
7. タンネットダイオード	13
8. 理想型 SIT	14
9. 超高速広帯域光変調器	15
10. ミリ波帯イメージングアレイの研究	16

1. THz帯ショットキ・ダイオード

直径0.4μmのダイオード製作により、THz帯での高感度検出を実現

研究成果の概要

1) 研究の背景

近年、光通信を高密度化、核融合プラズマ計測、地球環境計測等の分野においてテラヘルツ帯を利用した研究が活発化してきた。テラヘルツ帯検出器として、高速応答、常温動作可能なショットキ・ダイオードに着目し高感度・低雑音の検出器/ミキサの研究開発を行った。

2) 研究の成果

電子ビーム露光を用いた微細パターン描画、ECRプラズマ/リアクティブイオンエッチングを用いた低損傷エッチング、陽極傘下法を用いたエピタキシャル層精密制御、メッキ法によるPt/GaAs高品質界面の形成等により、直径0.4μmのTHz帯検出器/ミキサー用ショットキ・ダイオードの開発を行った(図1)。

このダイオードにより、0.7THzにおいて、ビデオ検出感度で約80%の改善できた(図2)。また、ヘテロダイン検出のミキサ雑音温度において、約25%改善することが出来た。

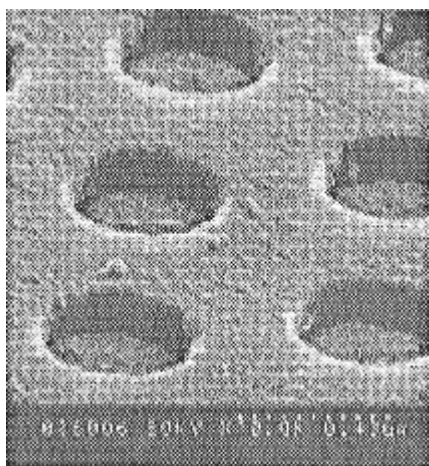


図1 直径0.4μmのショットキ・ダイオード

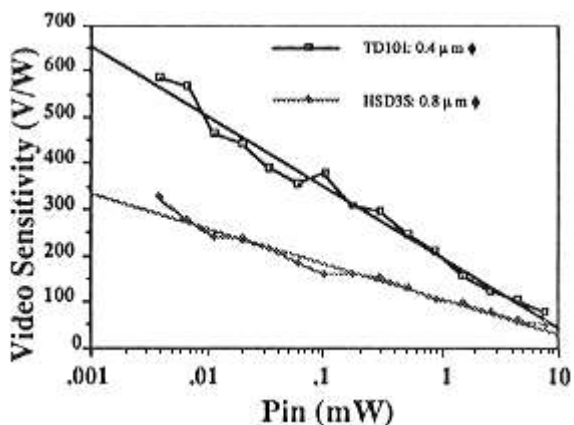


図2 直径0.4μmと、直径0.8μmのダイオードのビデオ検出感度特性

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 光通信高密度化
- 2) 核融合プラズマ計測
- 3) 地球環境計測

特許出願

なし

報告書他

- 1) C.M.Mann,T.Suzuki,J.J.Chang,T.Nozoekido,Y.Kuwano and K.Mizuno,"Measurement and Study of The Embedding Impedance Presented by the Whisker Antenna of a Schottky Diode Corner Cube Mixer", 4th International Symposium on Space Terahertz Technology (March 1993), University of California, Los Angeles.
- 2) T.Suzuki,J.J.Chang,T.Nozoekido,Y.Kuwano and K.Mizuno,"Fabrication of Submicron GaAs Schottky Diode Mixer/Detectors Operating in the submillimeter Wave Region", 17th Int'l Conf. on IR & MMW, Pasadena(1992),pp210-211.
- 3) T.Suzuki,H.Shinohara,T.Nozoekido,Y.Kudo,H.Warashina and K.Mizuno" Noise dependence of Submillimeter Wave Pt/GaAs schottky Diode on Interface Defects and Temperature", 16th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Lausanne, Switzerland (1991) pp472-473.
- 4) T.Suzuki, H.Shinohara,K.Mizuno et al."The 3rd Asia-Pacific Microwave Conf. Proceedings,Tokyo (1990) pp1081-1084.

〔研究者名〕 水野皓司、張 仁治

2. 準光学的共振器

準光学的共振器を用いたミリ波多素子発振器

研究成果の概要

1) 研究の背景

ミリ波からサブミリ波の発振源として固体発振素子は小型、軽量、低電圧、低消費電力などの点ですぐれている。しかし、ノイズ特性、安定性、周波数が高くなると出力が低下するといった問題点がある。上記の問題点を解決するため凹面鏡と回析格子を用いた準光学的なファブリペロー共振器を提案した。

2) 構造

本発振器の構造を図 1 に示す。凹面鏡と方形溝を有する金属回析格子が向い合い、ファブリペロー共振器を構成している。ガンダイオードは、回析格子の溝の中にマウントされ、上下の金属板を通してバイアス電圧が供給される(図 2)。また、溝の深さを変えることにより素子とのインピーダンス整合をとることができる。

3) 成果

1. Xバンドのモデル実験において 18 素子同期発振、電力合成に成功

2. 50GHz 帯において、3 素子の同期発振、電力合成に成功(図 3)

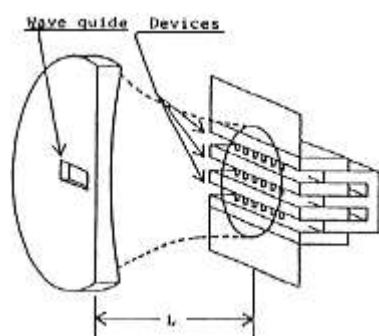


図 1 発振器の構造

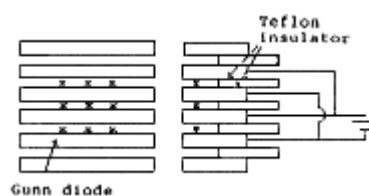


図 2 回折格子とガンダイオードのマウント法

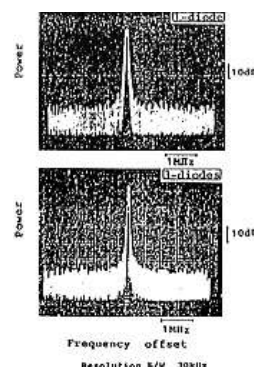


図 3 発振スペクトラム

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 光通信の高密度化
- 2) 小エリアローカル放送
- 3) 高分解能小型レーダ
- 4) 閉空間における高速・大容量データ通信

特許出願

なし

報告書他

1) 西澤テラヘルツプロジェクト研究概要集(1991 年)

〔研究者名〕水野皓司、林倉有逸

3. 半導体ラマンレーザ

GaP 結晶を用いた半導体ラマンレーザで励起光の最小しきい値パワー300mW を実現

研究成果の概要

励起光入射窓のない誘導体多層膜(励起光に対しては70~95%の高い透過率で、ストークス光に対しては95~99%の高い反射率を有する膜)を用いることにより、連続出力のYAGレーザ(波長 1.06μm)を励起光として、しきい値入力パワー1W 以下(800mW)での発振を実現した〔図1〕。

波長可変 Ti-Sa レーザ(波長 800~900nm)を励起光とし、しきい値入力パワー300mW で単一縦モード発振を実現した〔図2〕。

更に波長可変 Ti-Sa レーザを信号光(920nm)と励起光(890nm)として使い、光ヘテロダイン復調実験に成功した。これにより半導体ラマンレーザを用いた光ヘテロダイン復調による超広帯域光通信が実現できることを示した〔図3〕。

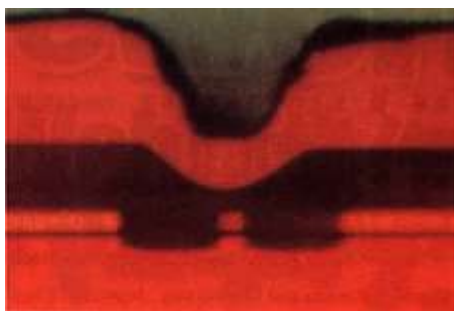


図1 ラマンレーザ断面の光透過像

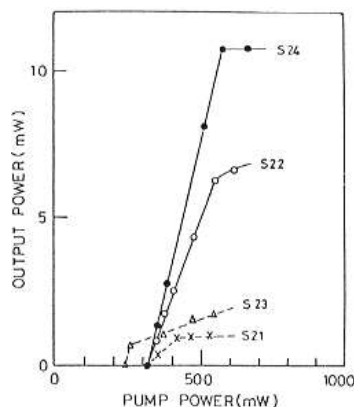


図2 Ti-Sa レーザ励起によるラマンレーザ発振特性

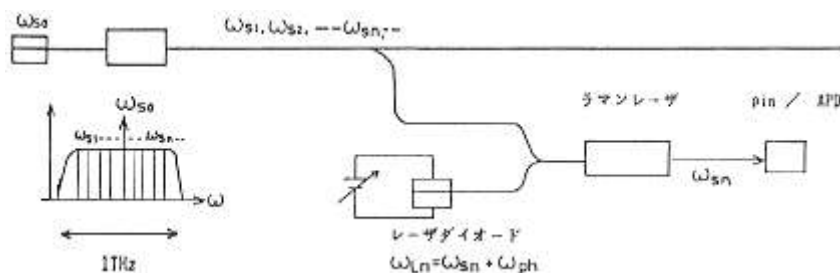


図3 光ヘテロダイン復調概念図

成果展開可能なシーズ、用途等

広帯域光通信における

- 1) 光ヘテロダイン復調
- 2) コヒーレンスの高い光発振器、低雑音光増幅器
- 3) 遠赤外光発生

特許出願

1) 半導体ラマンレーザ

特 願：平 2-274111(平 2.10.13)

出 願 人：新技術事業団、西澤潤一、須藤 健

請求の概要：波長選択型誘導体膜を用いることにより、低しきい値で動作する半導体ラマンレーザ

報告書他

1) 須藤 健：創造科学技術推進事業 1990 研究報告会 第 4 部講演要旨集 p52-58(1990 年 12 月) 新技術事業団

2) 須藤 健：西澤テラヘルツプロジェクト研究概要集 p38-46(1992 年 9 月)新技術事業団

3) K.Suto,T.Kimura and J.Nishizawa:IEE PROCEEDINGS-J, Vol.139,N0.6,P.407-412(1992) 「Semiconductor Raman laser Pumped with a fundamental mode」

4) K.Suto,T.Kimura and J.Nishizawa:Journal of Electrochemical Society, Vol.140, N0.6, P.1805-1808(1993) 「Semiconductor Raman Laser with Pump Light Wavelength in the 800 nm Region」

〔研究者名〕 須藤健、木村智之

4. ドライエッチング方式

光励起プロセスにより原子層オーダーの GaAs エッチング技術を実証

研究成果の概要

1) 研究の背景

分子層成長をした、薄膜単結晶構造は、損傷なく、分子層、あるいは原子層の精度で加工しなければならない。光励起プロセスは、最も有効な手段と考えられる。

2) 研究の内容

塩素ガス導入と紫外線照射を交互に行うことにより、GaAs の(100)面及び(111)B 面の原子層エッチングの可能性を検討した。

エッチングチャンバーへのガス導入圧力

ガス導入時間、ガス排気時間、及び紫外線照射時間を適宜設定することにより、エッチングレートが、セルフリミットの飽和する領域が見いだされた。

(図 1、図 2)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) エッチングメカニズム(吸着・反応・脱離)の解明
- 2) 高速トランジスタ、量子効果素子等の作製

特許出願

- 1) ドライエッチング方法

特 願：平 3-349847

出 願 人：新技術事業団、西澤潤一、山本健二

請求の概要：エッチングガスの導入、排気及び光照射の一連の工程において、エッチング試料の表面を分子層又は原子層の厚さのオーダーでエッチングするドライエッチング方法。

報告書他

- 1) 西澤テラヘルツプロジェクト研究概要集(1991 年)

〔研究者名〕 山本健二

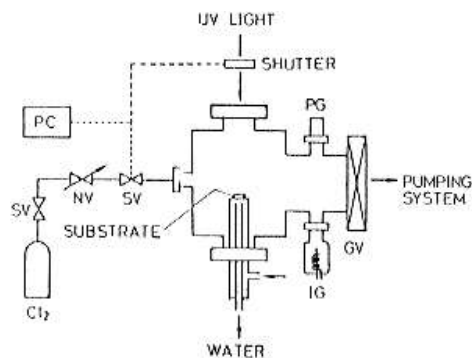


図 1 光励起エッチング装置概略図

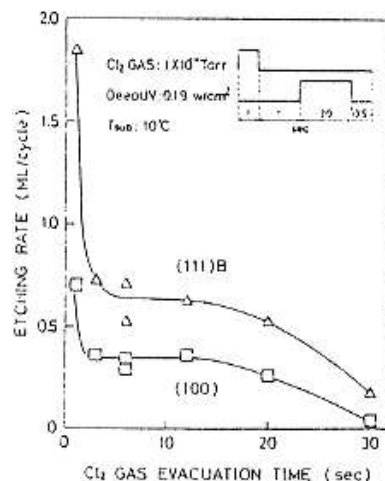


図 2 塩素ガス排気時間とエッチングレートの関係

5. 金属分子層堆積

理想型 SIT 等極薄構造半導体素子に適した、厚い合金層がない低抵抗金属半導体接触形成を目指して行われた、極薄金属分子層堆積。

研究成果の概要

1) 金属分子層堆積

トリイソブチアルミやジメチルアルミハイドライド等を原料として用い、結晶成長直後に低温で金属薄膜堆積を行い、良好な界面を持つ金属半導体接合を形成することを目指した。

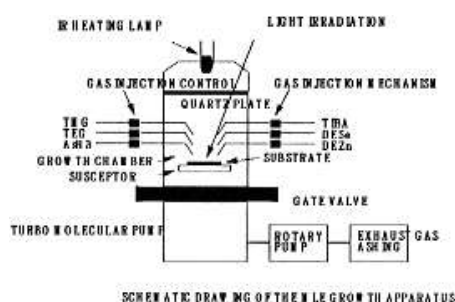


図1 実験装置構成概略図

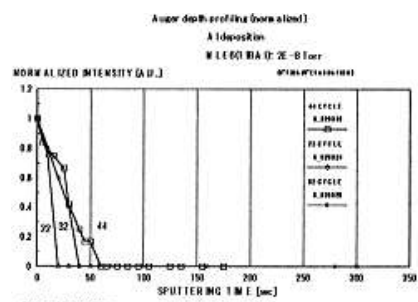


図2 GaAs 結晶上に堆積した極薄アルミニウム層のオージェ電子分光法による分析

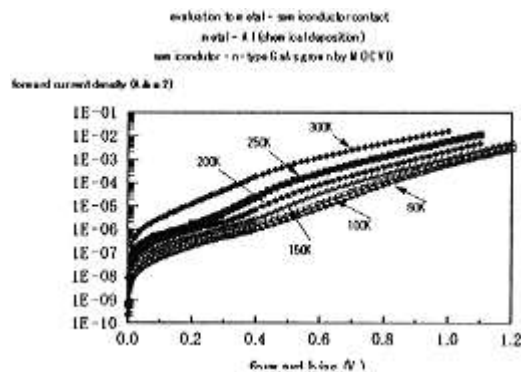
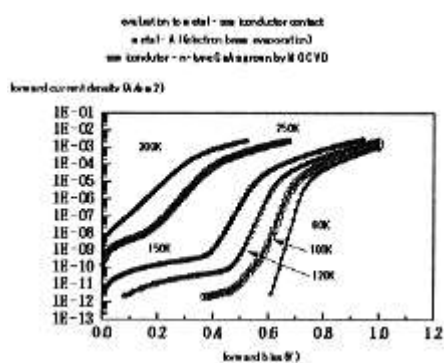


図3 金属半導体接触障壁高さの測定

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超高速・高集積化半導体素子、低抵抗金属半導体接触の形成技術

特許出願

なし

報告書他

1) 小山 裕

光励起分子層エピタキシャル成長

西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年

2) 真田宣明

光励起分子層エピタキシーによるハイドープ GaAs 成長と金属分子層堆積

西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年

3) 倉林 徹

分子層エピタキシーとその応用

西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年

〔研究者名〕 小山 裕、倉林 徹、真田宣明

6. 化合物結晶の分子層エピタキシャル成長及びドーピング

理想型 SIT・タンネットダイオード等極薄多層構造半導体素子に要求される高均一・高濃度そして急峻な不純物プロファイルの実現。

研究成果の概要

TMG/AsH₃ による GaAs 分子層エピタキシャル成長層膜厚分布。(図 1)

自己停止機構による分子層エピタキシャル成長条件下では極めて平坦な成長薄膜分布が得られた。

高濃度 Se 添加 GaAs 成長層膜厚分布($n=4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)(図 2)

$10^{20}/\text{cm}^3$ に迫る極めて高濃度で且つ極めて平坦な成長層が得られた。

高濃度 Se 添加 GaAs 成長層 1 層成長層の急峻な不純物プロファイル。(図 3)

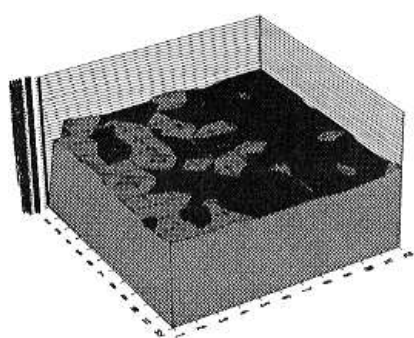


図 1

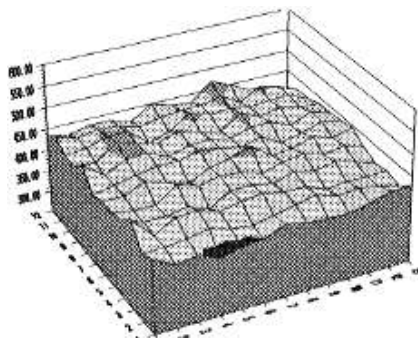


図 2

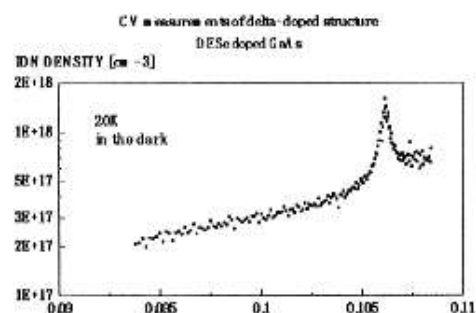


図 3

成果展開可能なシーズ、用途等

1) 超高速・高集積化半導体素子、低抵抗金属半導体接触の形成技術

特許出願

なし

報告書他

- 1) J.Nishizawa,T.Kurabayashi,J.Hoshina, Photon Enhancement of Decomposition of AsH₃ and TMG, J.Electrochem.Soc.,"Vol.134,N0.2",pp.502-504(1987)
- 2) 西澤潤一、嶋脇秀徳, GaAs の結晶成長機構, 第 27 回半導体専門講習予稿集、pp.75-101(1986)、半導体研究第 27 巻、pp.94-121(工業調査会)1987
- 3) 西澤潤一、半導体半導体工学における光化学, 光化学,"Vol.11",pp.94-95(1987)
- 4) 西澤潤一、化合物半導体の結晶成長 3., 「半導体結晶の気相成長機構と吸着」第 1 回「大学と科学」公開シンポジウム－新しい材料 明日の先端技術の躍進に向けて－pp.246-

271(1987)

- 5) 西澤潤一、嶋脇秀徳, 光励起プロセスとエレクトロニクス, 光励起プロセスハンドブック、第1章, pp.9-15(1987)
- 6) J.Nishizawa, H. Shimawaki, T. Kurabayashi, M. Kimura, Mechanism of Crystal Growth of GaAs in Chemical Vapor Deposition (CVD), "SPIE Vol.796, Growth of Compound Semiconductors", pp.175-181(1987)
- 7) J.Nishizawa, H. Shimawaki, Y. Sakuma, In-situ Analysis of Photoexcitation effects on GaCl₃, "J. Electrochem. Soc., Vol.134, No.12", pp.3155-3159(1987)
- 8) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, H. Abe, N. Sakurai, Deposition Mechanism of GaAs Epitaxy, "J. Electrochem. Soc., Vol.134, No.4", pp.945-951(1987)
- 9) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, H. Abe, A. nozoe, Mechanism of Surface Reaction in GaAs Layer Growth, "Surface Science, Vol.185", pp.249-268(1987)
- 10) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, H. Abe, N. Sakurai, Gallium Arsenide Thin Films by Low Temperature Photochemical Processes, "J. Vac. Sci. Technol., Vol. A5", pp.1572-1577(1987)
- 11) 西澤潤一、倉林徹, 表面吸着反応による GaAs 結晶成長, 第19回結晶成長国内会議 NCCG-19, 日本結晶成長学会誌, pp.86-89(1987)
- 12) 西澤潤一、倉林徹, 原子層エピタキシーと分子層エピタキシー, 光励起プロセスハンドブック, pp.182-194(1987)
- 13) J.Nishizawa, T. Kurabayashi
Surface Reaction Mechanism of GaAs Epitaxy
Proceedings of the Symposium on Dry Process, pp.194-205, "172 and Electrochem. Soc. Meeting, Hawaii Oct." 1987
- 14) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, Photoassisted Molecular Layer Epitaxy, "Denshi Tokyo, IEEE of Japan, No.26", pp.120-124(1987)
- 15) J.Nishizawa, H. Shimawaki, Y. Sakuma, Vapor-Phase Epitaxial Growth of GaAs Using GaCl₃ and AsH₃, "J. Electrochem. Soc., Vol.135, No 7", pp.1813-1816(1988)
- 16) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, Y. Iwasaki, Mass spectrometric Analysis of Gas Molecule Adsorption on Solid, "6th International Conference on Surface and Collid Sceince Abstract, pp.19-20, Hakone, Japan June 5-10, "1988
- 17) J.Nishizawa, T. Kurabayashi, Growth Kinetic Study in GaAs molecular Layer Epitaxy m TMG/AsH₃ System, "Proc. of the 4th Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, J. Crystal Growth, Vol.93, pp.98-107"1988
- 18) 西澤潤一、倉林徹, 分子層エピタキシー, "第29回半導体専門講習会予稿集、pp.85-122, 半導体研究第29巻, pp.97-136(工業調査会)"1988
- 19) 西澤潤一, 半導体完全結晶への道, 第3回「大学と科学」公開シンポジウム、未来をになう材料科学—人が操る原子の世界—予稿集、pp.106-115(1989)

- 20) J.Nishizawa,H.Abe,T.Kurabayashi, Doping in Molecular Layer Epitaxy, "J.Electrochem.Soc.,Vol136,No.2,pp.478-484"1989
- 21) 西澤潤一, 分子層エピタキシー, 第26回東北大学電気通信研究所シンポジウム論文集「光と電波の境界」,pp43-68 1990
- 22) 倉林 徹, "第33回半導体専門講習会予稿集、pp.85-122", "半導体研究第33巻,pp.1-36(工業調査会)"1990
- 23) J.Nishizawa, Photoassisted Deposition Process, "Thin Solid Films,Vol.163,pp.149-156 (1988) (7th Int.Conf.on Thin Films, New Delhi,India,Dec.1987)"
- 24) J.Nishizawa,T.Kurabayashi, On the Reaction Mechanism of GaAs MO-CVD, "J.Crystal.Growth,Vol.99,pp.525-529 (1990) (Proceeding of the Ninth Int.Conf.on Crystal Growth, sendai, Japan Aug,1989)"
- 25) J.Nishizawa,H.Sakuraba,Y.Oyama, Molecular Layer Epitaxy of GaAs, "Thin Solid Films,Vol.225,pp.1-6"1993
- 26) 倉林 徹, 分子層エピタキシーとその応用, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991年

〔研究者名〕 小山 裕、倉林 徹、菊池秀幸、浜野知行、真田宣明

7. タンネットダイオード

分子層エピタキシャル成長法によるタンネットダイオードの試作・設計と新規な共振器及び準光学的手法による周波数測定技術の検討。

研究成果の概要

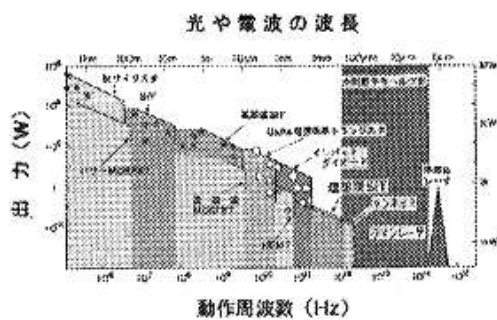


図1 半導体出刃椅子の出力と周波数

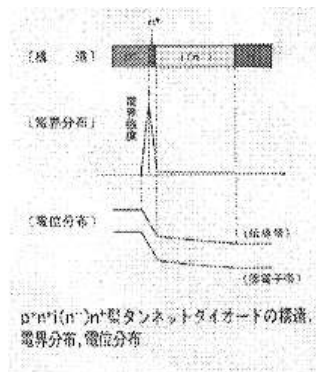


図2

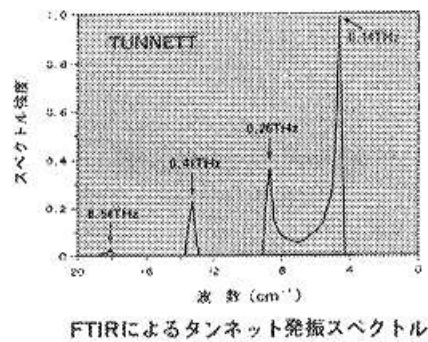


図3 準光学的手法による周波数測定

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超高周波・高密度通信
- 2) 電波天文学
- 3) 化学分析分野

(図4)

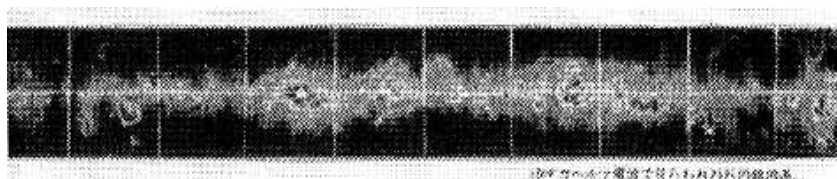


図4 10GHz で見た銀河系

特許出願

なし

報告書他

- 1) K.Motoya, J.Nishizawa, "The CW GaAs TUNNETT Diode, Topics in Millimeter Wave Technology"2, Chapter 1,"pp.1-46 1988
- 2) J.Nishizawa, "The Second Sendai International Conference YAGI Symposium on Advanced Technology Bridging the Gap between Light and Microwaves, Abstract, Sept.25-27,"pp.22-23 1990
- 3) 鈴木敏文, タンネットダイオードに関する研究, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991年
- 4) 倉林 徹, 分子層エピタキシーとその応用, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991年

〔研究者名〕 小山 裕、鈴木敏文

8. 理想型 SIT

光励起分子層エピタキシャル成長法の特徴を生かした、分子層オーダーの極薄多層構造を有する理想型 SIT の設計 1 試作と基本特性測定。

研究成果の概要

分子層オーダーの膜厚制御性・急峻で高濃度な不純物プロファイルの実現及び高品質な再成長界面の形成。

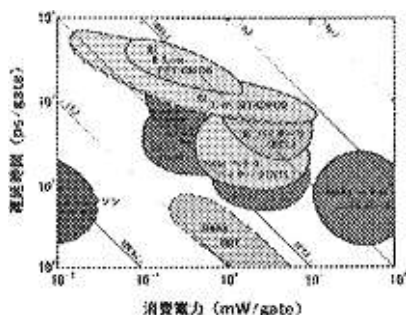


図1 各種集積回路の遅延時間と消費電力の関係

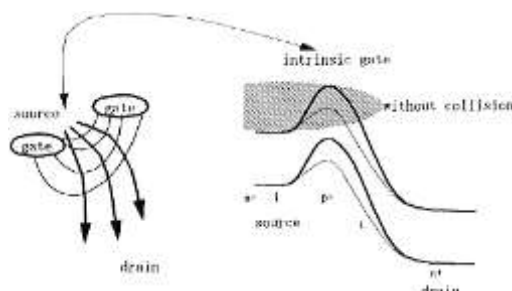


図2 キャリアが格子散乱の影響を受けない超高速テラヘルツ帯動作トランジスタ

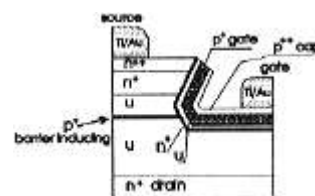


図3 理想型 SIT 試作断面構造

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超高速・高集積化半導体素子

特許出願

なし

報告書他

- 1) J.Nishizawa, ISIT:Ultra High Speed Ballistic Devices, Physics of Semiconductor Devices, Proceedings of the 4th International Workshop, Madras, Dec 10-15"1987
 - 2) J.Nishizawa,K.Motoya, SIT as Ballistic Device, Topics in Millimeter Wave Technology (Academic Press)"2,Chapter 5,"pp.213-247 1988
 - 3) 西澤潤一, メソスコピック SIT とタンネットダイオード, 第26回東北大学電気通信研究所シンポジウム論文集「光と電波の境界」,pp.27-41 1990
 - 4) Piotr Plotka, Processes and building blocks for GaAs ideal static induction transistor, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年
 - 5) 松本史夫, GaAs 理想型静電誘導トランジスタに関する研究, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年
 - 6) 倉林 徹, 分子層エピタキシーとその応用, 西澤テラヘルツプロジェクト研究終了報告書 1991 年
- 〔研究者名〕 小山 裕、ピョートルプラトカ、松本史夫

9. 超高速広帯域光変調器

光波と変調波の位相速度を一致させた変調器の設計・製作と動作の実証

研究成果の概要

1) 研究の背景

高度情報化社会において、今後通信容量の飛躍的な増加が予想されるため光伝送系は大容量化が必要となる。そこで本研究では、将来の大容量光伝送方式に適合し得る高速光変調器の研究開発を目的として、設計法・作製法・評価法などの新しい技術開発を行った。

2) 研究の内容

光波と変調波の位相速度を完全に一致させることにより、高速化、広帯域化が可能であるLiNbO₃結晶を用いた速度整合型広帯域光変調器を設計、提案した。またGap結晶についても検討を行った。

光変調器の作製には結晶や電極に対して微小な立体加工が必要であり、結晶のエッチング加工にはECR-RIE装置を、また進行波型立体電極の作製には電解メッキなどの方法を用いて、作製技術の確立を行った。

変調器の試作を行った結果、LiNbO₃結晶X板上に形成した分岐干渉型強度変調器の例では、波長1.3μmの光に対して変調電圧2.1V、変調帯域幅18GHzの素子が得られた。

(図1)

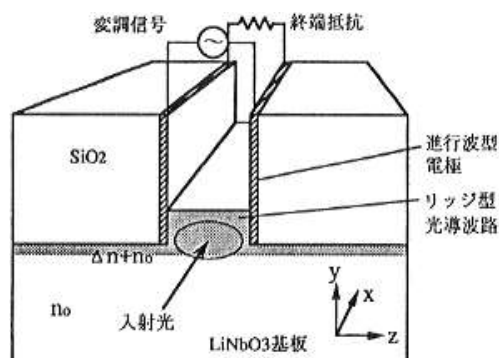


図1 速度整合型光変調器

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 大容量光伝送方式に適合し得る高速光変調器

特許出願

なし

報告書他

- 1) 皆方 誠 他:第50回応用物理学術講演会,p.888,1989
- 2) 池上隆俊 他:第37回応用物理学関係連合講演,p.937,1990
- 3) 皆方 誠 他:電子情報通信学会秋季全国大会,C-151,1990

〔研究者名〕皆方 誠、池上隆俊、タラプロサド・キャトパテヤイ

10. ミリ波帯イメージングアレイの研究

研究成果の概要

1) 背景

現在"カメラ"は、日常生活あるいは科学技術の分野において非常に有用な機器である。本研究はこのカメラの概念をミリ波帯へ応用したもので、可視光に比べ霧、雲などに対する透過性が良いことを利用したリアルタイムでのイメージング装置の実現を目的としている。

2) 構造

本研究で開発したミリ波帯イメージングアレイの構造を図 1 に示す。多数個の探知器を配置するために、誘電体上のプリント型アンテナを用い、さらにその指向性を円形に近づけるために、八木アンテナ型の構造となっている。

3) 成果

1. 核融合プラズマの計測：図 2 は本研究で開発したイメージングアレイを用い、70GHz で観測した筑波大学のプラズマ装置(ガンマ 10)の電子密度分布の時間変化を示したものである。
2. 次世代車載用レーダー：図 3 は、形状認識出来るイメージングレーダー開発の予備実験で行った三角形金属版の 60GHz におけるイメージである。

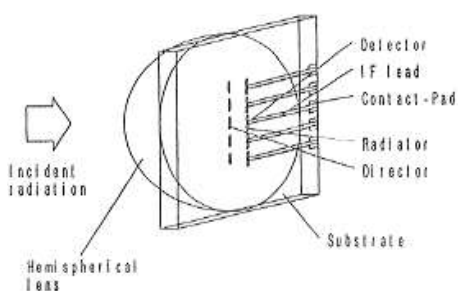


図 1 八木アンテナ型イメージングアレイ

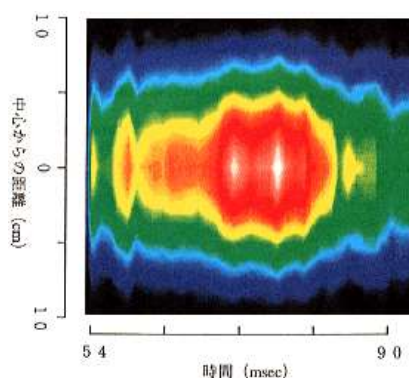


図 2 プラズマ電子密度分布

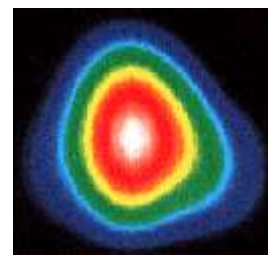


図 3 三角金属板イメージ

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 霧時等に有用な車載用イメージングレーダー
- 2) 火山あるいは危険物監視用イメージングレーダー
- 3) 火災時用ロボットのセンサー
- 4) 地球環境観測用リモートセンサー

特許出願

なし

報告書他

- 1) K.Mizuno,K.Uehara,H.Nishimura,T.Yonekura, and T.Suzuki,"Yagi-Uda array for millimeter-wave imaging," Electronics Letters, vol.27, pp.108-109,Jan.1991.
- 2) K.Uehara,K.Miyashita,K.Natsume, K.Hatakeyama,and K.Mizuno,"Imaging arrays for the millimeter-and submillimeter-wave region,"Second International Symposium on Space Terahertz Technology, pp.91-97,Feb.1991.
- 3) K.Hattori,A.Mase,A.Itakura,M.Inutake,S.Miyoshi,K.Uehara,T.Yonekura, H.Nishimura, K.Miyashita, and K.Mizuno, "Millimeter-wave phase-imagign interferometer,"Review of Sientific Instruments,vol.62,no.12,pp.2857-2861,Dec.1991.
- 4) K.Uehara, K.Miyashita, K.Natsume, K.Hatakeyama, and K.Mizuno,"Lens-coupled imaging arrays for the millimeterand submillimeter-wave regions,"IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.,vol.40,no.5,pp.806-811,May.1992.

〔研究者名〕 水野皓司