

橈量子波プロジェクトの研究成果

目次

1. 真空一貫プロセス	2
2. ALE 法による量子構造の作製	4
3. 自己形成手法による細線・ドット構造の作製	6
4. 有機分子 FET	8
5. 有機分子光学素子	10
6. 選択成長量子構造	12
7. 量子構造トランジスター	14
8. 量子赤外光学素子	16
9. 量子細線、量子箱構造の設計理論	18

1. 真空一貫プロセス

InAs マスクへの電子線照射と塩素ガスエッチングにより GaAs の真空中パターン形成に成功。エッチング・再成長界面の高純度性を実証。

研究成果の概要

1) 研究の背景

- ・塩素、塩化水素ガスによる化学的エッチングを用い、GaAs のダメージフリー、超清浄加工が可能であることを定量的に実証した。(図 1)
- ・GaAs と InAs の塩素ガス、塩化水素ガスエッチング選択性を明らかにし(図 2、図 3)、電子線照射と組み合わせることにより、V 溝エッジ量子細線構造の形成に成功した。(図 4)
- ・電子線照射により InAs の塩素ガスエッチングレートが増大することを見いだした。(図 5)

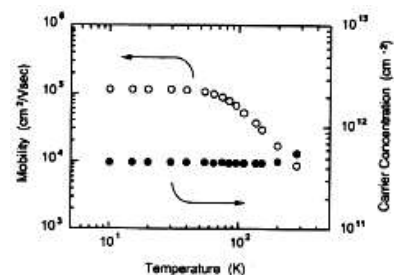


図 1 エッチング・再成長界面に形成された 2 次元電子密度(●)と移動度(○)の温度依存性

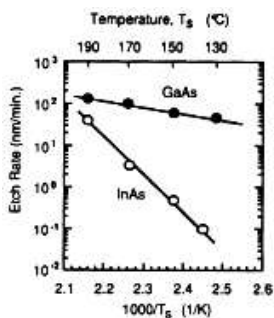


図 2 塩素ガスによる GaAs(●)と InAs(○)のエッチングレートの温度依存性

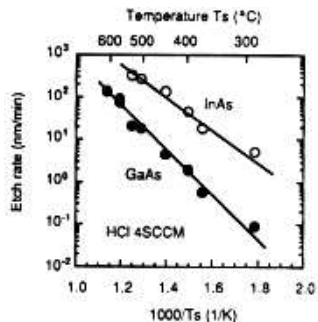


図 3 塩化水素ガスによる GaAs(●)と InAs(○)のエッチングレートの温度依存性



図 4 InAs マスクを用いた真空一貫プロセスにより形成した V 溝エッジ量子細線構造の断面 SEM 像

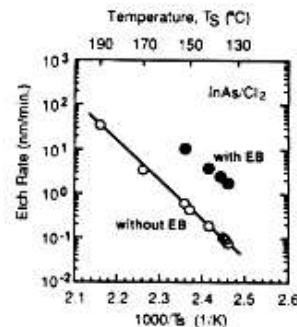


図 5 電子線照射による InAs の塩素ガスエッチングレートの増大

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 量子細線、量子箱等、立体量子構造の形成
- 2) 埋め込み半導体レーザー、光導波路等の構造作製

特許出願

- 1) 化合物半導体基板の微細加工方法

特 願：平 3-333459(平 3.2.17)

出 願 人：新技術事業団、住友電気工業(株)、旭化成工業(株)

請求の概要：部分的に堆積した数原子層以下の異種半導体をマスクとしてエッチングにより化合物半導体基板に微細加工を施す方法

- 2) 化合物半導体基板の微細加工方法

特 願：平 3-340892(平 3.2.24)

出 願 人：新技術事業団、住友電気工業(株)、旭化成工業(株)

請求の概要：インジウムひ素をマスクとし、電子線の被照射部分以外を選択的に塩素ガスによりエッチングする化合物半導体基板の微細加工方法

3) 化合物半導体基板の微細加工方法

特 願：平 4-211533(平 3.8.7)

出 願 人：新技術事業団、住友電気工業(株)、旭化成工業(株)

請求の概要：インジウムひ素をマスクとし、電子線の被照射部分を選択的に塩素ガスによりエッチングする化合物半導体基板の微細加工方法

4) 化合物半導体装置の製造方法

特 願：平 4-211532(平 3.8.7)

出 願 人：新技術事業団、住友電気工業(株)、旭化成工業(株)

請求の概要：珪素または炭素化合物を含む気体雰囲気中で化合物半導体基板上に電子線照射することにより極めて薄い不純物添加領域を持つ化合物半導体装置を製造する方法

報告書他

- 1) Y.Kadoya,A.Sato,H.Kano,and H.Sakaki:Journal of Crystal Growth,Vol.111p.280(1991)
"Electrical properties and dopant incorporation mechanisms of Si doped GaAs and AlGaAs grown on (111) A surfaces by MBE"
- 2) Y.Kadoya, H.Noge, H.Kano,H.Sakaki,N.Ikoma and N.Nishiyama Applied Physics Letters Vol.61,p.1658(1992). "Molecular-beam-epitaxial growth of n-AlGaAs on clean Cl₂-gas etched GaAs surfaces and the formation of high mobility two-dimensional electron gas at the etch-regrown interfaces"
- 3) Y.Kadoya,H.Noge,H.Kano,and H.Sakaki:Journal of Crystal Growth,Vol.127,p.877(1993).
"Formation of high mobility two-dimensional electron gas at etch-regrown AlGaAs/GaAs interface prepared by chlorine gas etching and MBE in an UHV multichamber system"
- 4) S.Miya,T.Yoshida,Y.Kadoya,B.Akamatsu,H.Noge,H.Kano,and H.Sakaki:Applied Physics Letters,Vol.63,p.1789(1993). "Electron beam-enhanced etching of InAs in Cl₂ gas and novel in situ patterning of GaAs with InAs mask layer"
- 5) Y.Kadoya,T.Yoshida,T.Someya,H.Akiyama,H.Noge,and H.Sakaki:Japanese Journal of Applied Physics, Vol.32, Part II(Letters), P. L1496(1993). "Etching of InAs in HCl Gas and Selective Removal of InAs Layer on GaAs in Ultrahigh-Vacuum Processing System" 他

〔研究者名〕 角屋 豊、三矢伸司、吉田孝志、加納浩之、野毛 宏

2. ALE 法による量子構造の作製

塩化物法原子層エピタキシ(ALE)を中心とした気相プロセスを用いて、量子細線構造作製のための高純度化、成長機構の解明を行い、T型量子細線の作製に適用。

研究成果の概要

1) 研究の背景

- ・ GaCl、InCl を III 族原料とする気相成長により、ALE、ガスエッチング、通常の気相成長を組み合わせて量子構造の作製を行った。
- ・ ALE 成長 GaAs で不純物濃度 10^{15}cm^{-3} 程度の高純度化を達成した。また、GaAs の ALE 成長機構の解明を行い、GaCl 供給後の表面での Ga 層析出が ALE の自己停止機構に大きな役割を果たしていることを発見した。
- ・ T 型量子細線構造の成長に本手法を適用し、界面が原子オーダーで明確な構造を実現した。

(図 1、図 2)

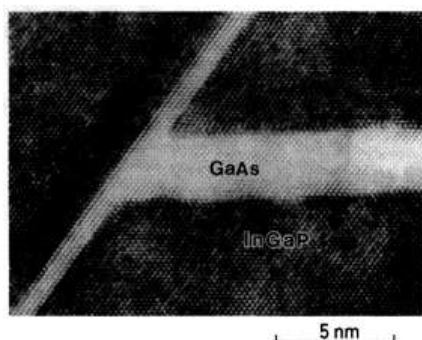


図 1 T 型量子細線構造

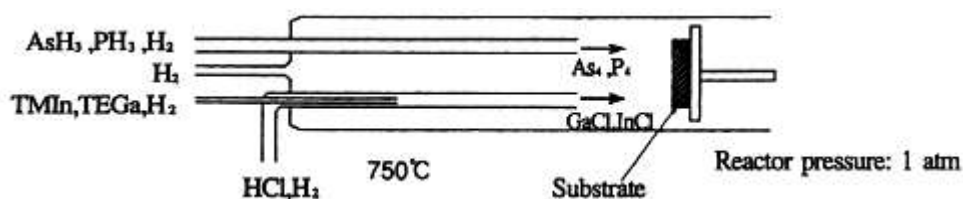


図 2 気相成長用反応管

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 量子細線デバイス
- 2) エッチング・再成長による半導体立体構造の作製

特許出願

- 1) 量子細線構造の作製方法

特 願：平 4-50565(平 4.3.9)

出 願 人：新技術事業団、日本電気(株)

請求の概要：ガスエッチングと原子層エピタキシを用いた、二つの量子井戸が交差する部分を量子細線とする T 型量子細線構造の作製方法

- 2) III-V 族化合物半導体のガスエッチング方法

特 願：平 4-153768(平 4.6.12)

出 願 人：新技術事業団、日本電気(株)

請求の概要：量子細線を形成するための III-V 族化合物半導体多層膜の一様な気相エッチング方法

報告書他

- 1) 砂川晴夫、碓井彰: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.11-24(新技術事業団、1993年9月). 「原子層エッチングと気相エッチングによる量子構造の形成」
- 2) 西研一: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.52-62(新技術事業団、1993年9月). 「SPA法による ALE 成長機構の検討」
- 3) K.Nishi,A.Usui,and H.Sakaki:Appl.Phys.Lett.,Vol.61,pp.31-33(1992). "In-situ Optical Characterization of GaAs Structures under Alternating Supply of GaCl and AsH₃"

他

〔研究者名〕 碓井 彰、砂川晴夫、西 研一、家近 泰

3. 自己形成手法による細線・ドット構造の作製

VPE 法の自己形成的性質を利用して歪型ドット、細線構造を形成。歪型量子構造の電子状態を解析。

研究成果の概要

- ・ GaAs 基板上に InP の VPE 成長を行うことで、量子ドットとして利用可能な数十 nm の InP 微小島が 10^9cm^{-2} 程度の高密度で生じることを見いだした。
- ・ GaAs 基板に集束イオンビーム(FIB)により Si イオンをライン状に照射した後 InP 成長を行うと、そのライン上のみ選択的に InP 成長が起き、量子細線形成に応用できる見通しを得た。
- ・ GaAs/InP 系の歪量子構造における電子・正孔の分布の様子を計算し、通常の構造に比較してより狭い領域に閉じ込められることを示唆する結果を得た。

(図 1、図 2)

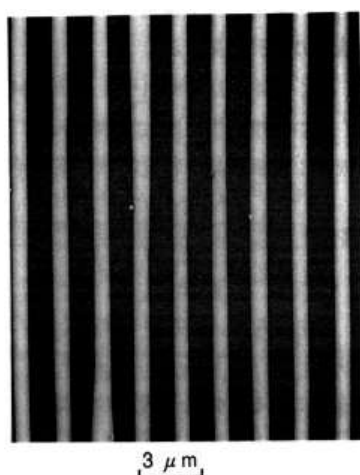


図 1 InP 細線

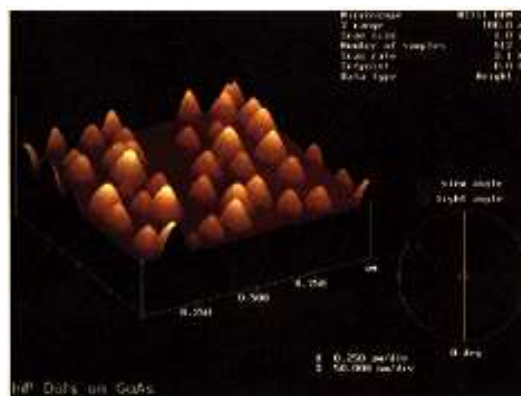


図 2 GaAs 基板上に成長した InP ドット

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 量子細線、量子ドットデバイス
- 2) 導波路など、基板上の特定部分への選択成長が必要とされる構造の作製

特許出願

1) III-V 族化合物半導体気相成長方法および半導体装置

特 願：平 4-153767(平 4.6.12)

出 願 人：新技術事業団、日本電気(株)

請求の概要：量子ドットを形成するための格子不整合を有する III-V 族化合物半導体の成長方法および量子ドット構造

2) 半導体結晶の選択成長方法

特 願：平 4-254589(平 4.9.24)

出 願 人：新技術事業団、日本電気(株)

請求の概要：基板結晶の特定領域に集束イオンビームを照射して選択的に結晶を成長させる形成方法

報告書他

- 1) ヨウニ・アホペルト、碓井彰: 極量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.25-33(新技術事業団、1993年9月). 「気相成長による立体量子構造の作製」
- 2) 西研一、山口敦史、ヨウニ・アホペルト: 極量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.35-51(新技術事業団、1993年9月). 「歪曲線、歪ドット構造におけるキャリア閉じ込めポテンシャルの解析」
- 3) J.Ahopelto, A.A.Yamaguchi, K.Nishi, A.Usui and H.Sakaki: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, pp. L197-L199 (1993). "Nanoscale InP Islands for Quantum Box Structures by Hydride Vapor Phase Epitaxy" 他

〔研究者名〕 碓井 彰、Jouni Ahopelto、西 研一、山口敦史

4. 有機分子 FET

アルキル基置換のオリゴチオフェンを合成し、それを用いて高移動度の電界効果トランジスタ(FET)を作製。

研究成果の概要

- ・電気的特性にすぐれ化学的に安定な有機半導体であるアルキル置換のオリゴチオフェンを新規に合成し、それをチャンネル層に用いた FET を作製した。
- ・アルキル置換オリゴチオフェン薄膜中の移動度の温度依存性と薄膜の吸収スペクトルから、薄膜中の電気伝導がポーラロンのホッピングモデルによって説明されることを明らかにした。
- ・ゲート絶縁層に高誘電率ポリマー材料を用いることでオリゴチオフェン薄膜中の移動度を向上させ、 $3.0\text{cm}^2/\text{Vs}$ というアモルファスシリコン並の移動度を達成した。

(図 1、図 2)

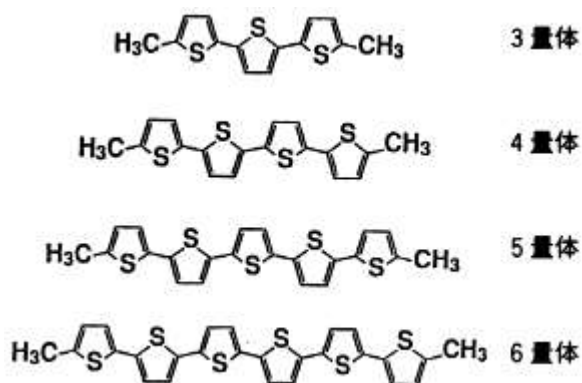


図1 アルキル置換オリゴチオフェンの構造

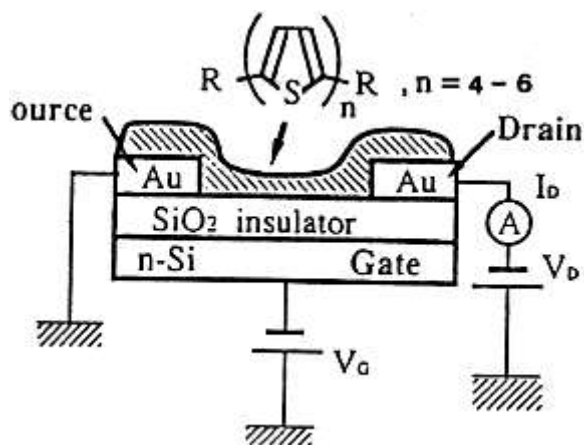


図2 有機分子の FET の構造

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) アモルファスシリコン並の移動度で大面積化に適した薄膜トランジスタ

特許出願

特 願：平 2-254632(平 2.9.25)、特開平 4-133351(平 4.5.7)

出 願 人：新技術事業団、堀田 収、松下技研(株)、(株)アルバックコーポレートセンター、(株)豊田中央研究所

請求の概要：末端をメチルまたはエチル化したオリゴチオフェンをチャンネル部分に用いた電界効果トランジスタ

報告書他

- 1) 堀田 収: 檜量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.267-272(新技術事業団、1993年9月). 「量子構造材料としての有機分子: 合成法とその構造的特徴」
- 2) 藁谷克則、秋道 斉: 檜量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.273-278(新技術事業団、1993年9月). 「オリゴチオフェン FET の電気特性」
- 3) 藁谷克則、堀田 収: 檜量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.279-284(新技術事業団、1993年9月). 「オリゴチオフェン薄膜における伝導機構」
- 4) 堀田 収: 「有機半導体トランジスタ(低分子系)」ニュートリガーシリーズ『有機半導体の実用化技術』(サイエンスフォーラム社、1993年)
- 5) H. Akimichi, K. Waragai, S. Hotta, H. Kano, and H. Sakaki: Applied Physics Letters Vol. 58, pp. 1500-1502 (1991) "Field-Effect Transistors Using Alkyl Substituted Oligothiophenes"

〔研究者名〕 堀田 収、秋道 斉、藁谷克則、加納浩之

5. 有機分子光学素子

アセン系有機分子の超格子構造を作製し、光学特性を評価。オリゴチオフエンを用いた発光素子を試作。

研究成果の概要

- ・2つのアセン系材料(ペンタセン、テトラセン)からなる超格子薄膜構造を作製し、X線回析法を用いた構造評価および蛍光分光法による発光挙動について調べ、構造と発光特性の変化に相関があることを見いだした。
- ・金属膜/チオフエン蒸着膜/ITO膜からなる発光素子を作製した。さらに発光層に超格子構造を導入した結果、発光効率の大幅な向上を確認した。

(図1、図2)

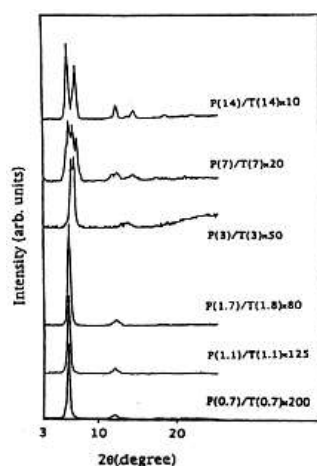


図1 テトラセン/ペンタセン超格子薄膜のX線回析スペクトル

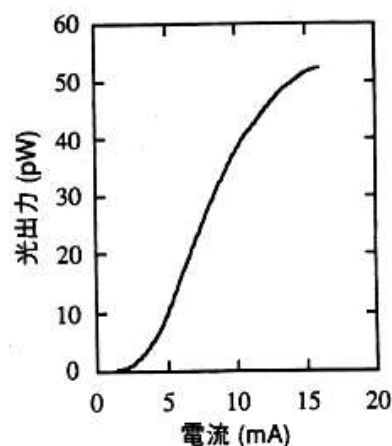


図2 オリゴチオフエン(6量体)を用いた発光素子の特性

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超格子薄膜構造による有機物の光学特性の制御
- 2) 有機発光素子の発光特性の改善

特許出願

- 1) 有機発光素子

特 願：平5-230317(平5.9.16)

出 願 人：新技術事業団、松下技研(株)、堀田収

請求の概要：リゴチオフエンを用いた有機発光素子及び重合度の異なるオリゴチオフエンの超格子構造を導入した有機発光素子

報告書他

- 1) 秋道 斉、井下 猛: 極量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、PP.291-296(新技術事業団、1993年9月). 「ペンタセン/テトラセン超格子構造の作製と光学評価」
- 2) 内山 潔: 極量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.285-290(新技術事業団、1993年9月). 「オリゴチオフェン薄膜の電界発生」
- 3) H.Akimichi, T.Inosita, S.Hotta, H.Noge, and H.Sakaki : Applied Physics Letters. Vol. 63, pp. 3158-3160 (1993). "Structure of Pentacene/Tetracene Superlattices Deposited on Glass Substrate."
- 4) K,Uchiyaha, H.Akimichi, S.Hotta, H.Noge, and H.Sakaki: submitted to Synthetic Metals. "Electroluminescence from Thin Film of a Semiconducting Oligothiophene Deposited in Ultra High Vacuum." 他

〔研究者名〕 堀田 収、秋道 斉、井下 猛、内山 潔

6. 選択成長量子構造

傾斜基板上的の原子ステップ端やパターン付き基板上的の分子線エピタキシー(MBE)による選択成長を利用して、面内超格子やファセット構造上量子細線を形成。

研究成果の概要

- 1) 傾斜基板上的の原子ステップを利用して単原子層以下の異種物質を選択的に MBE 成長すると、2次元電子ガス中にグリッド状の周期ポテンシャルを挿入した面内超格子ができることを指摘し、トランジスターを試作して、電子波のブラッグ反射による変調動作が原理的に可能なことを確かめた。
- 2) パターン付き基板上的の選択的 MBE 成長によって形成されるファセット構造の稜線(リッジ)上に量子井戸をさらに成長することで、リッジ量子細線を作製した。この細線中で電子が縦横 10nm 前後の領域に 1 次元的に閉じ込められていることを、発光特性の測定や電子密度の計算から明らかにした。
- 3) ファセット構造の(111)B 面上に幅 120nm のエッジ量子細線を作製し、磁場中での抵抗測定から電子の 1 次元性を確かめた。さらにこの構造を用いてトランジスターを試作し、基本的な動作に成功した。

(図 1、図 2、図 3)

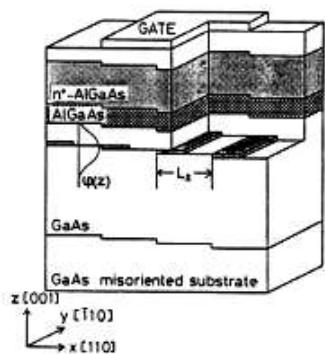


図 1 グリッドを挿入した 2 次元電子ガス・トランジスター

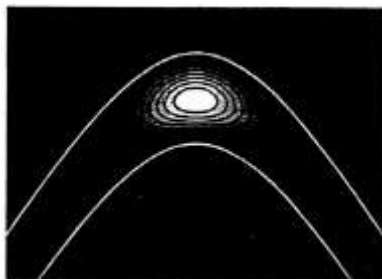


図 2 リッジ量子細線中の電子密度分布

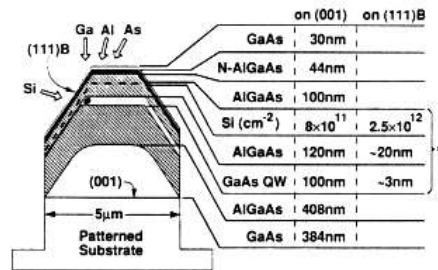


図 3 ファセット構造の(111)B 面上に 1 次元電子を形成するエッジ量子細線(左上の黒点部)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 高速、低雑音のトランジスター
- 2) 量子干渉デバイス
- 3) 高効率、低しきい値の量子細線レーザー

特許出願

- 1) グリッド入り量子構造

特 願：平 1-294368(平 1.11.13)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：量子井戸の内部に、引力ポテンシャル又は斥力ポテンシャルを有する異種材料
のグリッドを等間隔で埋込み配置した量子構造

《外国出願》

1) Grid-inserted quantum structure

米国出願：464,498(Jan.12,1990) 特許 5,054,030(Oct.1,1991)

EPC(独、英)出願：90101011,6(Jan.18,1990) 公開 0427905A3(May22,1991)

請求の概要：特願平 1-294368 に同じ

報告書他

- 1) H.Sugawara,J.N.Schulman,and H.Sakaki:Journal of Applied Physics Vol.69,N0.4,pp.2722-2724(1991). "Subband Structures and Wavefunctions of Electrons in Quantum Wires and In-Plane Superlattices Consisting of Grid-Inserted Quantum Well Structures"
- 2) J.Motohisa and H.Sakaki:Superlattices and Microstructures Vol.13,No.2,pp.255-258(1993). "Effect of Imperfect Potential on the Electron Mobility in In-Plane Superlattice Structures"
- 3) 小柴俊、中村有水、土屋昌弘、加納浩之：柵量子波プロジェクトシンポジウム報告資料 pp.102-110 (新技術事業団、1993年9月)。
- 4) S. Koshiha, H. Noge, H. Akiyama, T. Inoshita, Y. Nakamura, A. Shimizu, H. Sakaki, and K. Wada: to be published in Applied Physics Letters (1993). "Formation of GaAs Ridge Quantum Wire Structures by Molecular Beam Epitaxy on Pattered Substrates"
- 5) 小柴俊、秋山英文、井下猛、中村有水、野毛宏：柵量子波プロジェクトシンポジウム報告資料 pp.111-120、(新技術事業団、1993年9月)。「リッジ量子細線の作製」
- 6) Y.Nakamura,M.Tsuchiya,J.Motohisa,H.Noge,S.Koshiha,and H.Sakaki:to be published in Solid State Electronics(1994). "Formation of N-AlGaAs/GaAs Edge Quantum Wire on (111)B Micro Facet by MBE and Magnetic Depopulation of Quasi-One-Dimensional Electron Gas"
- 7) 中村有水、土屋昌弘、小柴俊、本久順一、野毛宏、加納浩之：柵量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.129-140(新技術事業団、1993年9月)。「ファセット構造を利用した MBE によるエッジ量子細線の作製とその伝導特性」

〔研究者名〕 中村有水、小柴 俊、野毛 宏、本久順一

7. 量子構造トランジスター

二重量子井戸間の共鳴を利用したトランジスター。

トンネル注入電子やスピン偏極電子を用いた量子干渉トランジスターおよび光素子。

研究成果の概要

- 1) 2重量子井戸の一方にのみ不純物をドーピングした構造のトランジスターを作製した。ゲート電圧によって井戸間が共鳴状態になると負性コンダクタンスが現われ、高速応答が期待される速度変調型トランジスターの基本動作に成功した。また、3倍周波数の通倍器への応用も試みた。
- 2) 量子干渉デバイスの特性向上を目的として、エネルギー分布の鋭い電子をチャネル層にトンネル注入する構造を提案した。
- 3) 量子細線中の電子-電子散乱によるスピン交換を利用して、量子干渉デバイスやスピントランジスターなどに応用可能なスピン偏極素子を考案した。
- 4) 電子スピンの配向と偏光との間の選択則に基づき、偏光をスピンによって制御できるようにしたレーザーや光検出器などの光学素子を提案した。

(図1、図2、図3)

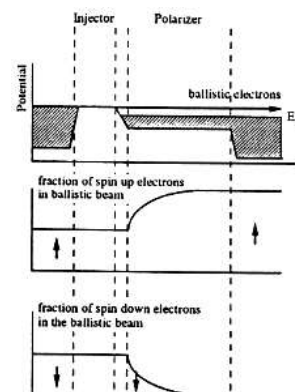
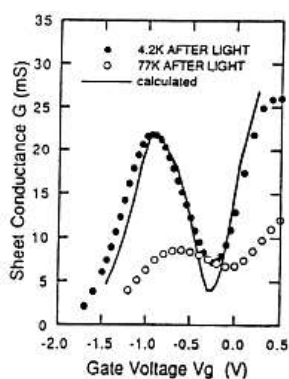
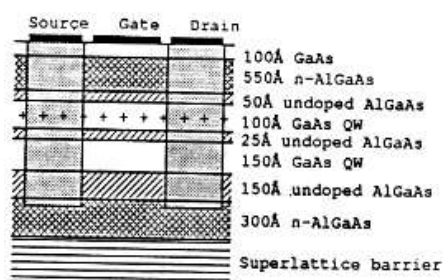


図1 共鳴散乱トランジスターの構造

図2 ゲート電圧による導電率の変調特性

図3 量子細線を用いた電子スピン偏極素子の動作原理

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 超高速トランジスター
- 2) 周波数通倍器
- 3) 量子干渉トランジスター
- 4) 偏光を利用したレーザー、光検出器、光変調器などの2次元アレイ

特許出願

- 1) 電子波素子

特 願：平 4-311853(平 4.11.20)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：伝導帯又は価電子帯がスピン分裂するように物質と方向を選びキャリアを注入することで、キャリアがスピン偏極して出力される電子波素子

2) トンネル注入半導体装置

特 願：平 4-311854(平 4.11.20)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：チャネル層の端部に共鳴トンネル構造を設け、先鋭なエネルギー分布をもつキャリアを注入できるようにしたトランジスターや電子波干渉素子などの半導体装置

3) 光半導体素子

特 願：平 5-46486(平 5.3.8)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：磁性体電極からスピン偏極したキャリアを注入することで、特定の偏光方向を持つ円偏光された光を選択的に検出し、放射し又は変調することができる光半導体素子

報告書他

- 1) Y. Ohno, M. Tsuchiya, and H. Sakaki: Applied Physics Letters Vol. 62, No. 16, pp. 1952-1954 (1993). "Gigantic Negative Transconductance and Mobility Modulation in a Double-Quantum-Well Structure via Gate-Controlled Resonant Coupling"
- 2) Y. Ohno, M. Tsuchiya, and H. Sakaki: Electronics Letters Vol. 29, No. 4, pp. 375-376 (1993) "New-Functional Field Effect Transistor Based on Wavefunction Modulation in delta-doped Double Quantum Wells"
- 3) 大野裕三、土屋昌弘、榊裕之: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.177-190(新技術事業団、1993年9月)。「結合二重量子井戸構造における共鳴移動度変調とそのトランジスタ応用」
- 4) G. Fasol and H. Sakaki: to be published in Japanese Journal of Applied Physics (1994). "Prediction of Spin-Polarization Effects in Quantum Wire Transport"
- 5) G. Fasol: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.164-176(新技術事業団、1993年9月) "Spontaneous Spin Polarization and Electron-Electron Scattering in Quantum Wires, and Hot Electron Spectroscopy Using Point Contacts"

〔研究者名〕 土屋昌弘、Gerhard Fasol、野毛 宏

8. 量子赤外光学素子

2 重量子井戸のサブバンド間遷移を用いた赤外光学素子。

量子構造を用いた、差周波光発生による可変波長光源。

研究成果の概要

- 1) 量子井戸構造の中央に薄いポテンシャル障壁を挿入する方法を用いて、基底準位は異なるが、励起準位が結合した 2 重量子井戸構造を設計・作製した。
- 2) この構造のサブバンド間遷移に共鳴した赤外光を照射すると、電子をエネルギーの低い準位から高い準位へ効率よく汲み上げることができ、光検出器などへの応用が可能なことを提案し、基礎実験にも成功した。
- 3) バイアス電圧を印加した量子構造において、2 つのバンド間遷移にそれぞれ共鳴する可視光を入射すると、誘導ラマン効果によってサブバンド間遷移に対応する赤外差周波光が発生することを指摘し、定量的な解析に基づいて従来難しかった波長可変赤外光源への応用を提案した。

(図 1、図 2、図 3)

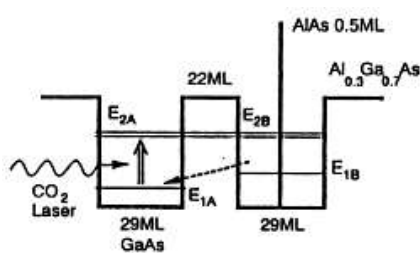


図 1 ポテンシャル挿入型 2 重量子井戸構造のバンド図と光学遷移

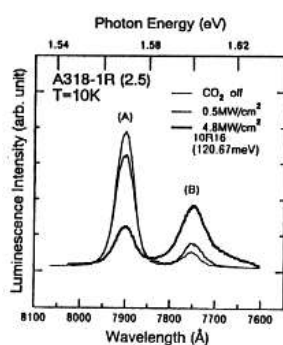


図 2 赤外光の吸収による電子の一方の井戸への汲み上げ現象

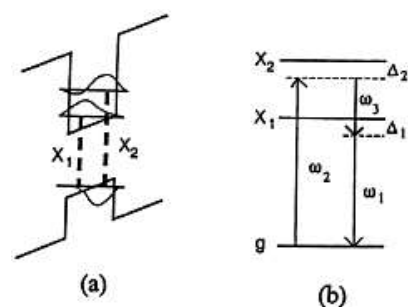


図 3 バイアス電圧を印加した量子構造のバンド図 (a) と可視光 ω_1 、 ω_2 の差周波光 ω_3 発生原理 (b)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 赤外光検出器
- 2) 赤外可視変換光変調器
- 3) 波長可変赤外コヒーレント

特許出願

- 1) 複合量子構造型半導体素子

特 願：平 2-37877(平 2.2.19)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：薄いトンネル障壁を挟んで、第一のエネルギーレベルが異なり第 2 又はそれ

以上のエネルギーレベルが等しい 2 種類の量子構造(量子井戸、量子細線または量子箱)を配置した複合量子構造型半導体素子

2) コヒーレント光発生器

特 願：平 3-218795(平 3.8.29)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：電界が印加された、少なくとも 3 つの準位を有する量子構造からなり、とりうる 3 つの遷移過程のうち 2 つの遷移エネルギーに対応する波長の光を入射させることによって、他の 1 つの遷移エネルギーに対応する波長の光が差周波発生されるようにしたコヒーレント光発生器

報告書他

- 1) Sakaki, H., Sugawara, J., Motohisa, and T. Noda: "Intersubband Transitions in Quantum Wells" edited by E. Rosencher and B. Levine, pp. 65-72 (Plenum Press, New York, 1992). "Intersubband Transition and Electron Transport in Potential-Inserted Quantum Well Structures and Their Potential for Infrared Detector"
- 2) H. Sugawara, H. Akiyama, Y. Kadoya, A. Lorke, S. Tsujino, T. Matsusue, and H. Sakaki: Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Quantum Well Intersubband Transition: Physics and Devices, Whistler, Canada, 1993, to be published (Kluwer Academic Publishers, 1994). "Control of Electron Population by Intersubband Optical Excitation in a Novel Asymmetric Double Quantum Well Structure: Proposal and Demonstration"
- 3) 菅原宏治、秋山英文、清水明: 櫛量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp. 233-237 (新技術事業団、1993年9月).
- 4) A. Shimizu, M. Kuwata-Gonokami, and H. Sakaki: Applied Physics Letters Vol. 61, No. 4, pp. 399-401 (1992). "Enhanced Second-Order Optical Nonlinearity Using Inter- and Intra-Band Transitions in Low-Dimensional Semiconductors"
- 5) 清水明、五神真: 櫛量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp. 253-258 (新技術事業団、1993年9月). 「非対称量子構造中の非線形光学過程による長波長光の発生と変調」

〔研究者名〕 秋山英文、菅原宏治、清水 明

9. 量子細線、量子箱構造の設計理論

量子細線の電子状態や移動度、2光子遷移過程を理論解析。

量子箱中の電子緩和の高速化への設計指針を提示。室温での高速動作が期待される結合量子箱構造を提案・解析。

研究成果の概要

- 1) エッジ量子細線における電子密度を、構造パラメータとの関係から計算した。さらに界面ラフネスや電子-電子散乱が量子細線中の電子移動に与える影響を理論的に解析し、高い移動度が得られる条件を示した。また、量子細線の2光子吸収過程における偏光依存性を解析し、これが次元性の評価に有用であることを示した。
- 2) 量子箱を薄い障壁層を介して隣接させた結合量子箱構造では光学フォノン散乱を抑制できる可能性を提案した。さらに、室温でも直流電界下で超高速の電子速度の振動現象(ブロッホ振動)がみられることを予測した。
- 3) 量子箱中の電子のエネルギー緩和を2フォノン放出過程まで考慮して解析し、量子箱のサイズ等を適当な大きさに設計すれば緩和時間は十分短くなって、高効率で高速変調が可能な量子箱レーザーが実現できることを示した。

(図1、図2、図3)

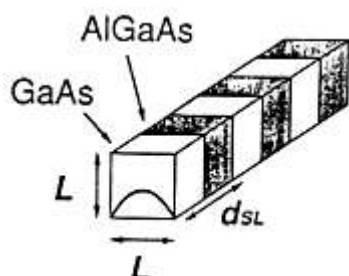


図1 結合量子箱構造

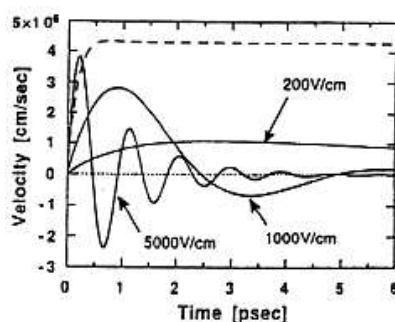


図2 電子速度の超高速振動現象

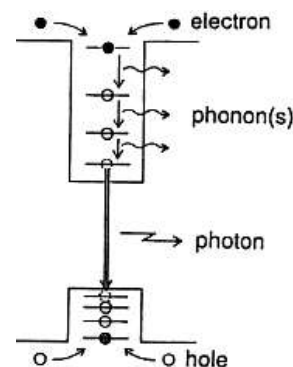


図3 量子箱における電子のフォノン放出とエネルギー緩和

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 高速、低雑音の量子細線トランジスタや結合量子箱トランジスタ
- 2) 超高周波発振デバイス
- 3) 低しきい値、高速変調の量子箱レーザー

特許出願

- 1) 結合量子箱列構造半導体

特 願：昭 63-293336(昭 63.11.19)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：量子箱構造を電子がトンネル効果で移動できるように隣接して並べ、光学フォノンの吸収又は放出が生じないようミニバンド状態を設計した結合量子箱列構造半導体

《外国出願》

1) 結合量子箱列構造半導体

米国出願：437,571(Nov.17,1989) 特許 5,070,375(Dec.3,1991)

EPC(独、英)出願：89121301,9(Nov.17,1989) 公開 0370403 A3(May30,1990)

請求の概要：特願昭 63-293336 に同じ

報告書他

- 1) 菅原宏治、土屋昌弘、井下猛: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.151-156(新技術事業団、1993年9月).
- 2) 本久順一: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.157-163(新技術事業団、1993年9月).
- 3) A. Shimizu, T. Ogawa, and H. Sakaki: Physical Review B Vol.45 No.19, pp.11338-11341(1992). "Two-Photon Absorption Spectra of Quasi-Low-Dimensional Exciton Systems"
- 4) 清水明: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.226-232(新技術事業団、1993年9月)「量子構造中の励起子による2光子吸収特性」
- 5) H.Sakaki: Japanese Journal of Applied Physics Vol.28, No.2 pp.L361-L363(1989). "Quantum Wire Superlattices and Coupled Quantum Box Arrays: A Novel Method to Suppress Optical Phonon Scattering in Semiconductors"
- 6) 野口裕泰、榊裕之: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.226-232(新技術事業団、1993年9月).
- 7) T.Inoshita and H.Sakaki: Physical Review B Vol.46, No.11, pp.7260-7263(1992). "Electron Relaxation in a Quantum Dot: Significance of Multi-Phonon Processes" 「結合量子箱構造におけるプロッホ振動の予測」
- 8) 井下猛: 榊量子波プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.259-262(新技術事業団、1993年9月)「半導体量子ドットにおける電子のエネルギー緩和」

〔研究者名〕 井下 猛、本久順一、清水 明、野毛 宏