

平成18年度 学術創成研究費 研究終了報告書（事後評価用）

平成18年3月31日

ふりがな	ふくいたかし		②所属研究機関・ 部局・職		北海道大学・大学院情報科学研究科・ 教授			
①研究代表者 氏名	福井 孝志							
③研究課題名 (英訳名)	有機金属気相成長高密度量子ナノ構造による単電子集積エレクトロニクス (Integrated Single Electronics Based on High-Density Quantum Nanostructures Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy)							
④研究経費 (千円未満切捨)	年度	研究経費 (千円)		使用内訳 (千円)				
		交付額	支出額	設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成13年度	90,000	90,009	76,859	10,717	1,687	407	339
	平成14年度	90,000	90,010	64,735	13,388	3,899	518	7,470
	平成15年度	85,000	85,000	56,555	13,816	2,057	0	12,572
	平成16年度	62,000	62,000	36,529	9,981	2,783	920	11,787
	平成17年度	53,000	53,000	31,151	6,965	1,490	0	13,394
	総計	380,000	380,019					
⑤研究組織 (研究代表者及び研究分担者)								
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担 (研究実施計画に対する分担事項)					
福井 孝志	北海道大学・大学院情報科学研究科・教授	結晶成長・ 電子材料	研究統括・結晶成長、プロセス技術					
長谷川 英機	北海道大学・名誉教授	半導体デバイス	単電子デバイス集積化のための表面・界面制御技術の確立					
雨宮 好仁	北海道大学・大学院情報科学研究科・教授	集積回路工学	量子集積アーキテクチャの検討					
本久 順一	北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・助教授	半導体量子物性工学	材料物性・素子特性評価					
橋詰 保	北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・教授	電子材料物性工学	デバイスプロセス・結晶界面評価					
葛西 誠也	北海道大学・大学院情報科学研究科・助教授	半導体デバイス工学	素子特性評価・シミュレーション					
原 真二郎	北海道大学・大学院情報科学研究科・助手	結晶成長・ 材料物性	半導体結晶成長					
計7名								

⑥当初の研究目的

本研究の目的は、半導体の極微細加工技術と有機金属気相選択成長技術を巧みに組み合わせることにより、超微細かつ欠陥のない「立体量子構造」を人工的に構成する新しいプロセス技術を確立して、単電子デバイスの集積化に道を開くことにある。具体的には、以下の研究を進めた。

(1) 高密度量子ナノ構造の形成技術の確立

デバイスの室温動作を目標に、10 ナノメートルオーダーの寸法を持つ化合物半導体ナノ構造の高密度形成を目指す。また、微細化とともに重要となる量子ナノ構造界面の電子状態解明に向けて、新たなナノ界面評価技術を開拓する。さらに、高密度集積化を進める上で、設計パターンの複雑化に対応して、多数のファセットが隣接するため、ファセット面間の相対的な関係を定性的に求める。

(2) 単電子現象を利用した新しいアーキテクチャの探索

単電子デバイスの集積化に適した、全く新しい概念のアーキテクチャを探索・提案し動作シミュレーションをするとともに、その実現に必要な単位デバイス機能を明らかにする。特に、増幅機能を有さない単電子デバイスに適した2分決定ダイアグラム(BDD)論理回路を中心に回路設計を進める。

(3) 新しい単電子デバイスの創出とその高密度集積化

次に、上記半導体選択形成プロセス技術を用いて、「単電子集積エレクトロニクス」の第一歩となる論理回路の NAND, NOR 回路及び加算器、さらに記憶回路の基礎となる、電子一個で書き込み、電子一個の動きで読み出しの出来る究極の「単電子メモリー」を高密度に試作する。

(4) 量子ナノ構造の新材料・新物質への応用

選択成長技術を応用した新材料・新物質として、柱状結晶成長モードを応用したフォトリック結晶、単電子素子の高温動作化を目指した半導体ナノワイヤの作製などへの応用をはかる。

⑦研究成果の概要

研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。

(1) 高密度量子ナノ構造の形成技術の確立

高密度量子ナノ構造形成のため、まず電子ビーム露光法により GaAs 基板表面に部分的に絶縁膜で覆われた Line & Space 構造、矩形開口構造などの基本的な基板のパターンを作製する行程と、次に有機金属気相成長法でこの基板の上に GaAs 立体量子構造の成長を行い、パターン形状及び成長条件と現れるファセット面との関係を明らかにすることで、任意の形状を有する GaAs 量子ドット構造、及びトンネル接合を有する単電子トランジスタ形成技術を確立した。さらに、単一電子メモリーへの応用を目指した InAs 量子ドットの位置制御技術を確立した。

(2) 単電子現象を利用した新しいアーキテクチャの探索

1. 量子ドット集積体による多数決論理デバイス

単電子箱による多数決論理デバイスを二次元量子ドット集積体で実現するための構造設計方針を確立した。すなわち、目的のゲート回路を与えたときに、それを構成するための量子ドットデバイスのトンネル接合容量と結合端子容量、負荷の多重トンネル接合の容量と多重数、および素子の配置パターンを決める方法を確立した。あわせて、協同トンネル現象による動作エラーを回避するためのデバイスパラメータ条件と熱擾乱を避けるための温度上限の算出法を決定した。

2. 量子ドット集積体による反応拡散デバイス

反応拡散デバイス上に発生する二次元電位パターンとデバイスパラメータとの関係を解析し、細胞性粘菌の集団が見せる回転ラセンパターンや細胞の分裂増殖に似た分裂成長パターンの発生をシミュレーション上で確認した。これは量子ドット集積体上に発生した一種の電子的な生命現象である。この反応拡散ダイナミクスを計算幾何学の問題求解に応用することを提案し、例として計算幾何学の基本的なデータ構造であるボロノイ図の構成に利用する方法を確立した。

(3) 新しい単電子デバイスの創出とその高密度集積化

1. 単電子集積回路

単電子トランジスタ (SET) の集積化に適した回路アーキテクチャである 2 分決定ダイアグラム (BDD) 論理回路の基本構造を作製しその動作を実証した。まず、SET を 2 個同一基板上に集積化し、直列接続した回路を作製した。2 つの SET の相補的動作による相補型単電子インバータ回路動作を確認した。続いて、BDD 論理回路の基本構成回路である 2 分岐節点デバイスを 2 個集積化して、BDD による AND/NAND 論理回路を試作した。モンテカルロシミュレーションの結果と対比させることにより、試作した回路が設計通りの論理回路動作をしていることが確認された。

さらに単電子トランジスタ 3 個を集積することで 1 ビット加算器を作製した(次ページ図)。この内 2 個は AND 回路を構成し、並列する他の 1 個は 2 入力ゲートとコントロールゲートからなり XOR 動作を行う。極低温においてそれぞれの構成素子・回路が正常に動作することを確認し、この方法による単電子論理回路の集積化への見通しを得た。

⑦研究成果の概要 つづき

2. 量子集積回路への展開

選択成長ナノ集積構造を利用した単電子BDD回路実装に平行して、GaAsエッチングナノ細線ネットワークを用いこれをショットキーラップゲート(WPG)で制御し回路実装する方法に取り組み、BDD量子集積回路の有用性について検討をさらに進めた。エッチングヘキサゴナルGaAsナノ細線ネットワークをWPGで制御する集積回路実装方法において、量子細線型素子を84個集積化した8ビット加算器(集積密度 2.5×10^7 素子/cm²)を試作に成功した。

単電子・少数電子BDD論理演算回路を核とした超小型・超低消費電力プロセッサ「ナノプロセッサ」の概念の提唱、さらにそのシステム設計とシミュレーションを行い2ビットナノプロセッサの動作に初めて成功した。これは単電子デバイスをはじめとする量子ナノデバイスを用いた汎用信号処理システムの可能性を世界に先駆けて具体的に示したものである。さらに詳細なシステム解析に基づき、単電子ナノプロセッサは、CMOSマイクロプロセッサと比較しサイズで1/5、消費電力は1/100以下となることを明らかにした。

また、新しい単電子BDD回路要素デバイスとして、2つの出力枝を同一の量子ドットに接続することにより各枝の単電子輸送に相関を持たせ、従来には無い全く新しいパススイッチング動作をするノードスイッチ型節点デバイスを提案、設計・試作・評価した。一方の出力枝の単電子輸送を制御するだけで、他方の輸送に影響が及び自動的に電流が切り替わることを実験的に確認した。従来各々の出力枝に独立に単電子トランジスタを設けるタイプのデバイスより構造がシンプルで、かつ精密な位相制御も不要であり、回路実装においては極めて有利である。

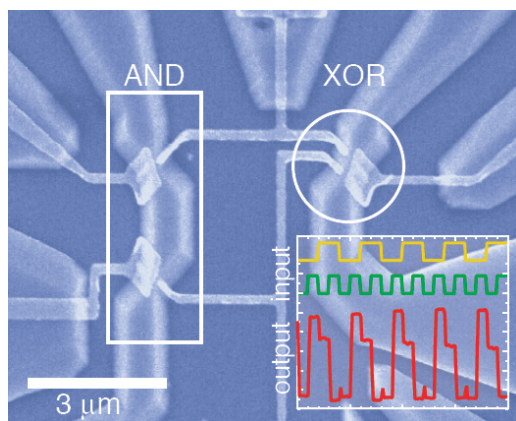
3. InAs 量子ドットを用いた単電子メモリー

選択成長により作製したリッジ型量子細線と、自己形成 InAs 量子ドットを組み合わせた、フローティングゲート型の単電子メモリーの試作とその評価を行った。線状にマスク基板の窓明けを行った基板に対して MOVPE 選択成長を行うことにより、リッジ構造の頂上部に選択ドーパ AlGaAs/GaAs ダブルヘテロ構造を形成した後、その上部に InAs 量子ドットを成長させる。そして、細線の両端にソースおよびドレイン電極、GaAs 細線チャネルと InAs を覆うようにゲート電極を形成する。ゲート電圧を制御することにより、量子ドット中の電子の帯電状態を変化させ(書き込み)、その状態をソース・ドレイン間の電流あるいは抵抗により読み出す。試作した素子を温度 20K で評価した結果、ドレイン電流に、ゲート電圧に対する明瞭な時計回りのヒステリシスが観測された。このヒステリシスが、ゲート側から注入された電子が量子ドットに保持されることに起因することが示された。これにより、今回試作した素子が単電子メモリーとしての基本的な機能を有することが示された。

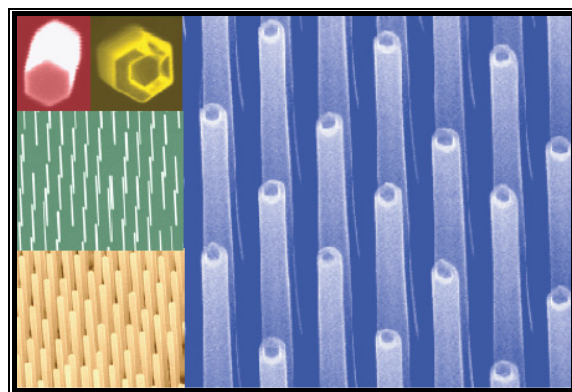
(4) 量子ナノ構造の新材料・新物質への応用

単電子素子の高温動作化を目的として、選択成長を用い、新しい種類のナノ構造の作製を試みた。具体的には、円形あるいは六角形のマスク開口部を有する GaAs (111) B 基板に対して選択成長を行うことにより、直径 50nm、長さは 9 μ m にもおよぶ、GaAs ナノワイヤ構造の作製に成功した。次に側面を AlGaAs で覆うことで、ヘテロ構造を作製した。このナノワイヤ作製技術を InP 系ヘテロ構造に応用するとともに、電極形成技術を開発し、単電子素子などのデバイス応用へと発展させた。

以上の研究成果を JCR 掲載のジャーナルに合計 149 編の論文として発表し、国際会議の招待講演は 91 回行なった。単電子論理回路については、Nature Materials 誌 (2003 年 10 月 9 日号)の中で超低消費電力のデジタル論理回路として紹介され、また 2006 年版半導体技術ロードマップ (ITRS) の中でも次世代素子として論文が紹介されるなど、世界的にも先駆的な研究として高く評価された。



SET 3 個を集積化した 1 ビット加算器の電子顕微鏡写真(Applied Physics Letters 2005 年 7 月 18 日号の表紙に掲載された)



AlGaAs/GaAs コアシェルナノワイヤの電子顕微鏡写真(Applied Physics Letters 2005 年 8 月 29 日号の表紙に掲載された)

⑧特記事項

この研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。

本研究課題の目的は、半導体の人工的ナノ構造を用いて電子一個一個の量子力学的運動を制御し、情報の検出、処理、蓄積を行う究極のエレクトロニクスを構築することである。このため、原子尺度で制御された界面を持つ量子ナノ構造の形成、および新しい素子への応用に必要な技術を確認するとともに、半導体量子ナノ構造を高密度に集積化し、超低消費電力の集積システム、さらには全く新しい原理に基づく量子集積回路・アーキテクチャを実現するための、最先端の科学と技術を創り出す研究を強力に推進した。

上記の研究を進展させる過程で、独創性・新規性を格段に発展させる新たな展開、及び学問的・学術的にインパクトの高い新たな進展が見られたので、以下に具体例を示す。

(1) 単電子集積回路の研究の進展

単電子トランジスタは、1990年代に多くの作製例が報告され、やや古くて新しいテーマでもあった。ただ、ほとんど全てのトランジスタがいわゆる単体であり、集積化への展望を欠いた方法が用いられていた。狭ギャップの対向する2つの電極間に金属微粒子あるいは半導体の微結晶などを配置する方法が主流で、この方法では、1個のトランジスタは作製できても、隣に同じ特性のトランジスタが出来る保証はなく、集積回路としての原理確認、動作確認は手付かずの状況にあった。

このような状況の中で、回路としての配置を決めるトップダウン技術と、結晶成長によりナノ構造を形成するボトムアップ技術の組み合わせにより、4個の単電子素子を集積化しその基本動作確認が出来たことはインパクトの大きな成果である。米国物理学会の発行する *Applied Physics Letters* の Cover Page に AND/NAND 回路(2003年)と1ビット加算器(2005年)が2度にわたり紹介された。

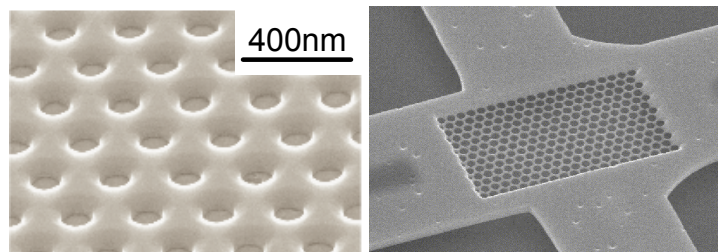
さらに、超低消費電力素子の検討のため、並行してGaAsエッチングナノ細線ネットワークをショットキーラップゲート(WPG)で制御する回路実装する方法に取り組み、ヘキサゴナルBDD量子回路の電力遅延積の評価を行なった結果、量子細線型素子で 10^{-18} J、単電子型では 10^{-22} Jと極めて小さく、本素子を集積した回路が超高速低消費電力動作可能であることを示した。さらに、高周波特性評価を行い、室温においては、単電子モードではないがGHz以上の高速スイッチングが可能であること、および、動作速度は素子サイズ縮小により向上することを実験的に明らかにした。

(2) 有機金属気相成長量子ナノ構造のフォトニック結晶・ナノワイヤ結晶への発展

これまで進めてきた量子ナノ構造技術の応用は、単電子デバイス・回路にとどまらず、他の分野においても極めてユニークな材料・構造を提供することが可能であることを示した。具体例として、まずフォトニック結晶は、従来の加工技術のみの場合と比較し、垂直ファセットを利用していることから、原子レベルで平坦な面が周期性良く得られるため、光の閉じ込め、フォトニックバンドギャップの利用等の面で有利となり、注目されている。これまで周期 400nm の GaAs 及び InGaAs のピラー型及びエアホール型フォトニック結晶を作製した(下図)。さらに、数十 nm の細線構造を持つ半導体ナノワイヤを本方法により作製した。従来法では金の微粒子を使ってワイヤ成長させていたが、結晶性特に界面形成に関して我々の方法が有利であり、現在単一光子発光デバイスなどのナノワイヤ素子の実現に向け、研究を進めている。

(3) 人工分子・人工格子

量子ナノ構造形成技術の全く新しい展開として、人工分子構造、人工格子構造がある。量子ドット中の電子の挙動に関しては、我々の量子ドットを用いて「近藤効果」及び「ラビ振動」が観測されている(Motohisa J *et al.*: PRL 88 (2002) 126803, Motohisa J *et al.*: PRL 90 (2003) 257402)。さらに、半導体中のスピンの向きを揃えることで強磁性的性質を制御することが可能とされている「Kagome 格子」について、これまで全く理論の域を出ていなかった研究分野で初めて実験的な試みを行こない、極めて大きな注目を集めている(Motohisa J, Fukui T *et al.*: APL 83 (2003) 689)。



選択成長により作製したエアホール型2次元フォトニック結晶と、エアブリッジ型フォトニック結晶

⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

本研究の成果として、JCR 掲載のジャーナルに発表した論文の合計は、**149** 編、合計インパクトファクター(IF)=**253.912**、平均 IF=**1.762** である。また学会誌等に **4** 編の解説記事で紹介するとともに、国際会議において **91** 回の招待講演を行った。代表的なジャーナルを掲載数の多い順に示す。

APPLIED SURFACE SCIENCE	(IF=1.497)	24 編
JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	(IF=1.142)	22 編
APPLIED PHYSICS LETTERS	(IF=4.308)	17 編
JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B	(IF=1.664)	10 編
NANOTECHNOLOGY	(IF=3.322)	7 編
JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH	(IF=1.707)	6 編
THIN SOLID FILMS	(IF=1.647)	3 編
PHYSICAL REVIEW LETTERS	(IF=7.218)	2 編
IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS	(IF=2.538)	2 編
IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS	(IF=2.178)	2 編
OPTICS EXPRESS	(IF=3.797)	1 編
IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY	(IF=3.176)	1 編
PHYSICAL REVIEW B	(IF=3.075)	1 編

I. 主要な論文 44 編を抜粋して掲載

1. Mohan P, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication of InP/InAs/InP core-multishell heterostructure nanowires by selective-area metalorganic vapor phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **88**, Art. No. 133105 (2006)
2. Mohan P, Motohisa J, Fukui T: “Realization of conductive InAs nanotubes based on lattice-mismatched InP/InAs core-shell nanowires”, APPLIED PHYSICS LETTERS **88**, Art. No. 013110 (2006)
3. Mohan P, Motohisa J, Fukui T: “Controlled growth of highly uniform, axial/radial direction-defined, individually addressable InP nanowire arrays”, NANOTECHNOLOGY **16**, pp. 2903-2907 (2005)
4. Takeda J, Akabori M, Motohisa J, Nötzel R, Fukui T: “Selective-area MOVPE fabrication of GaAs hexagonal air-hole arrays on GaAs (111)B substrates using flow-rate modulation mode”, NANOTECHNOLOGY **16**, pp. 2954-2957 (2005)
5. Yang L, Motohisa J, Takeda J, Fukui T: “Promising low-damage fabrication method for the photonic crystals with hexagonal or triangular air holes: selective area metal organic vapor phase epitaxy”, OPTICS EXPRESS **13**, pp. 10823-10832 (2005)
6. Nataraj D, Ooike N, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication of one-dimensional GaAs channel-coupled InAs quantum dot memory device by selective-area metal-organic vapor phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **87**, Art. No. 193103 (2005)
7. Yang L, Motohisa J, Fukui T: “Suggested procedure for the use of the effective-index method for high-index-contrast photonic crystal slabs”, OPTICAL ENGINEERING **44**, Art. No. 078002 (2005)
8. Noborisaka J, Motohisa J, Hara S, Fukui T: “Fabrication and characterization of freestanding GaAs/AlGaAs core-shell nanowires and AlGaAs nanotubes by using selective-area metalorganic vapor phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **87**, Art. No. 093109 (2005)
9. Tachizaki T, Matsuda O, Fukui T, Baumberg J J, Wright O B: “Terahertz ultrasonic generation and detection in GaAs/AlGaAs quantum wells”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS BRIEF COMMUNICATIONS & REVIEW PAPERS **44**, pp. 4477-4479 (2005)
10. Miyoshi Y, Nakajima F, Motohisa J, Fukui T: “A 1 bit binary-decision-diagram adder circuit using single-electron transistors made by selective-area metalorganic vapor-phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **87**, Art. No. 033501 (2005)

⑨研究成果の発表状況－2

11. Hara S, Motohisa J, Noborisaka J, Takeda J, Fukui T: “Photoluminescence from single hexagonal nano-wire grown by selective area MOVPE”, INSTITUTE OF PHYSICS CONFERENCE SERIES **184**, pp. 393-398 (2005)
12. Noborisaka J, Motohisa J, Fukui T: “Catalyst-free growth of GaAs nanowires by selective-area metalorganic vapor-phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **86**, Art. No. 213102 (2005)
13. Lin Y, Motohisa J, Fukui T: “Photonic crystal slabs with hexagonal optical atoms and their application in waveguides”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS **44**, pp.2531-2536 (2005)
14. Matsuda O, Tachizaki T, Fukui T, Baumberg J J, Wright O B: “Acoustic phonon generation and detection in GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As quantum wells with picosecond laser pulses”, PHYSICAL REVIEW **B 71**, Art. No. 115330 (2005)
15. Kumakura K, Makimoto T, Kobayashi N, Hashizume T, Fukui T, Hasegawa H: “Minority carrier diffusion length in GaN: Dislocation density and doping concentration dependence”, APPLIED PHYSICS LETTERS **86**, Art. No. 052105 (2005)
16. Ooike N, Motohisa J, Fukui T: “MOVPE selectively grown GaAs nano-wires with self-aligned W side gate”, JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH **272**, pp. 175-179 (2004)
17. Motohisa J, Noborisaka J, Takeda J, Inari M, Fukui T: “Catalyst-free selective-area MOVPE of semiconductor nanowires on (111)B oriented substrates”, JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH **272**, pp. 180-185 (2004)
18. Takeda J, Inari M, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication and characterization of GaAs two-dimensional air-hole arrays on GaAs (111)A substrates using selective-area MOVPE”, JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH **272**, pp. 570-575 (2004)
19. Ooike N, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication of GaAs nanowire devices with self-aligning W-gate electrodes using selective-area MOVPE”, THIN SOLID FILMS **464**, pp. 220-224 (2004)
20. Motohisa J, Takeda J, Inari M, Noborisaka J, Fukui T: “Growth of GaAs/AlGaAs hexagonal pillars on GaAs (111)B surfaces by selective-area MOVPE”, PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES **23**, pp. 298-304 (2004)
21. Inari M, Takeda J, Motohisa J, Fukui T: “Selective area MOVPE growth of InP and InGaAs pillar structures for InP-based two-dimensional photonic crystals”, PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES **21**, pp. 620-624 (2004)
22. Kim H J, Motohisa J, Fukui T: “Formation of GaAs wire structures and position-controlled In_{0.8}Ga_{0.2}As quantum dots on SiO₂-patterned vicinal (001) GaAs substrates”, NANOTECHNOLOGY **15**, pp. 292-296 (2004)
23. Mohan P, Motohisa J, Fukui T: “Realization of InAs-based two-dimensional artificial lattice by selective area metalorganic vapor phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **84**, pp. 2664-2666 (2004)
24. Besombes L, Baumberg J J, Motohisa J: “Polarization-dependent Rabi oscillations in single InGaAs quantum dots”, SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY **19**, pp. S148-S151 (2004)
25. Akabori M, Takeda J, Motohisa J, Fukui T: “InGaAs nano-pillar array formation on partially masked InP (111)B by selective area metal-organic vapour phase epitaxial growth for two-dimensional photonic crystal application”, NANOTECHNOLOGY **14**, pp. 1071-1074 (2003)
26. Nakajima F, Miyoshi Y, Motohisa J, Fukui T: “Single-electron AND/NAND logic circuits based on a self-organized dot network”, APPLIED PHYSICS LETTERS **83**, pp. 2680-2682 (2003)
27. Mohan P, Nakajima F, Akabori M, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication of semiconductor Kagome lattice structure by selective area metalorganic vapor phase epitaxy”, APPLIED PHYSICS LETTERS **83**, pp. 689-691 (2003)
28. Takahashi H, Miyoshi Y, Nakajima F, Mohan P, Motohisa J, Fukui T: “Formation and characteristics of 100-nm scale GaAs quantum wires by selective area MOVPE”, APPLIED SURFACE SCIENCE **216**, pp. 402-406, (2003)
29. Oya T, Asai T, Fukui T, Amemiya Y: “A majority-logic device using an irreversible single-electron box”, IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY **2**, pp. 15-22 (2003)
30. Besombes L, Baumberg J J, Motohisa J: “Coherent spectroscopy of optically gated charged single InGaAs quantum dots”, PHYSICAL REVIEW LETTERS **90**, 257402 (2003)

㊟研究成果の発表状況－3

31. Kim H J, Motohisa J, Fukui T: “Fabrication of single- or double-row aligned self-assembled quantum dots by utilizing SiO₂-patterned vicinal (001) GaAs substrates”, *APPLIED PHYSICS LETTERS* **81**, pp. 5147-5149 (2002)
32. Akabori M, Takeda J, Motohisa J, Fukui T: “Selective area MOVPE growth of two-dimensional photonic crystals having an air-hole array and its application to air-bridge-type structures”, *PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES* **13**, pp. 446-450 (2002)
33. Motohisa J, van der Wiel W G, Elzerman J M, De Franceschi S, Nakajima F, Ogasawara Y, Fukui T, Kouwenhoven L P: “Low temperature transport in dual-gated SETs fabricated by selective area metalorganic vapor phase epitaxy”, *PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES* **13**, pp. 687-690 (2002)
34. Nakajima F, Ogasawara Y, Motohisa J, Fukui T: “Two-way current switch using Coulomb blockade in GaAs quantum dots by selective area metalorganic vapor phase epitaxy”, *PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES* **13**, pp.703-707 (2002)
35. Oya T, Asai T, Fukui T, Amemiya Y: “A majority-logic nanodevice using a balanced pair of single-electron boxes”, *JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY* **2**, pp. 333-342 (2002)
36. Motohisa J, Nakajima F, Fukui T: “Formation of nanoscale heterointerfaces by selective area metalorganic vapor-phase epitaxy and their applications”, *APPLIED SURFACE SCIENCE* **190**, pp. 184-190 (2002)
37. Takeda J, Akabori M, Motohisa J, Fukui T: “Formation of Al_xGa_{1-x}As periodic array of micro-hexagonal pillars and air holes by selective area MOVPE”, *APPLIED SURFACE SCIENCE* **190**, pp. 236-241 (2002)
38. Matsuda O, Ishii I, Fukui T, Baumberg J J, Wright O B: “Wavelength selective photoexcitation of picosecond acoustic-phonon pulses in a triple GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As quantum well structure”, *PHYSICA B-CONDENSED MATTER* **316**, pp. 205-208 (2002)
39. Kusuha T, Nakajima F, Motohisa J, Fukui T: “Formation of InAs dots on AlGaAs ridge wire structures by selective area MOVPE growth”, *JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS* **41**, pp. 2508-2512 (2002)
40. Motohisa J, Nakajima F, Fukui T, van der Wiel W G, Elzerman J M, De Franceschi S, Kouwenhoven L P: “Fabrication and low-temperature transport properties of selectively grown dual-gated single-electron transistors”, *APPLIED PHYSICS LETTERS* **80**, pp. 2797-2799 (2002)
41. van der Wiel W G, De Franceschi S, Elzerman J M, Tarucha S, Kouwenhoven L P, Motohisa J, Nakajima F, Fukui T: “Two-stage Kondo effect in a quantum dot at a high magnetic field”, *PHYSICAL REVIEW LETTERS* **88**, 126803 (2002)
42. An H Y, Motohisa J, Fukui T: “Optical anisotropy in InAs quantum dots formed on GaAs pyramids”, *JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS* **40**, pp. 2312-2316 (2001)
43. Nakajima F, Ogasawara Y, Motohisa J, Fukui T: “GaAs dot-wire coupled structures grown by selective area metalorganic vapor phase epitaxy and their application to single electron devices”, *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS* **90**, pp. 2606-2611 (2001)
44. Lee S, Akabori M, Shirahata T, Takada K, Motohisa J, Fukui T: “The initial stage of InGaAs growth by MOVPE on multiautomic-stepped GaAs structures”, *JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH* **231**, pp. 75-81 (2001)

II. 主な解説記事

1. 本久順一, 福井孝志「半導体ナノワイヤとデバイス応用」*応用物理* **75** 巻 pp.296-302 (2006)
2. 福井孝志, 本久順一「有機金属気相成長法によるナノ構造の作製」*応用物理* **73** 巻 pp.593-598 (2004)

III. 主な国際会議招待講演

1. Fukui T and Motohisa J: “Growth of compound semiconductor dot-network for single electron transistor”, The 12th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS-12), Hamamatsu, Japan (2004)
2. Fukui T and Motohisa J: “GaAs Quantum Dots and Single Electron Devices Fabricated by Selective Area MOVPE”, International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT), Singapore (2001)