

戦略的創造研究推進事業
ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ
研究領域「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・
システムの創製」
研究課題「共鳴磁気トンネル・ナノドット
不揮発性メモリの創製」

研究終了報告書

研究期間:平成14年11月～平成20年3月

研究代表者: 小柳 光正
(東北大学大学院工学研究科 教授)

1 研究実施の概要

本研究では、磁気ナノドットによる磁気現象を MOS トランジスタに取り込んだ新しい不揮発性メモリを提案し、その動作確認とそれを用いたメモリベースの新しい超高速、低電力回路の可能性を示すことを目的として研究を実施した。この磁気ナノドットメモリのメモリ構造の一例を図 1 に示す。図からわかるように、この磁気ナノドットメモリは、磁界によってスピン

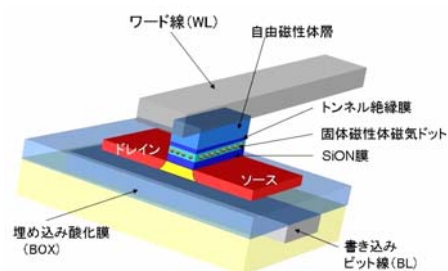


図1 共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリの構造

の方向を変えられる自由磁性体層と磁気ドットから成る固定磁性体層から構成される MTJ (Magnetic Tunnel Junction) と、増幅素子として働く SOI・MOS トランジスタが融合したような構造をしている。磁気ナノドットの TMR 効果を利用して書き込み、保持特性の改善を行うとともに、磁気ナノドットの保持する電荷による MOS トランジスタのしきい値電圧の変化を信号として読み出す。磁気ナノドットを用いることによって、従来の微細化限界を越えた高性能の不揮発性メモリが実現できる可能性がある。

本研究を進める上で、鍵となるのは、1) 良好な磁気特性を有する磁気ナノドットを形成できるかということと、2) 浮遊ゲートである固定磁性体層と制御ゲートである自由磁性体層の間にスピンに依存した磁気トンネル効果を起こすことができるかということである。よく知られるように、磁性材料はその寸法が 10 nm 以下にまで縮小されると、超常磁性現象のために磁性を発現しなくなる可能性がある。そこで、本研究では、良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの実現と、浮遊ゲートと制御ゲートの間の磁気トンネル効果の検証とを分離して行い、それらの結果を合わせて磁気ナノドットメモリを作製することとした。まず、浮遊ゲートと制御ゲートの間の磁気トンネル効果の検証を行った。検証に際しては、磁気トンネル効果を明確に観察するために、浮遊ゲートである固定磁性体層として、磁気ナノドットではなく平板状の磁性電極を用いた。まず、平板状の FePt 固定磁性体層(浮遊ゲート)と NiFe 自由磁性体層(制御ゲート)を有する試料を用いて磁化特性を評価した。その結果、小さな磁場(210e)で NiFe 自由磁性体層が磁化の方向を反転し、大きな磁場(1600 0e)で FePt 固定磁性体層が磁化の方向を反転することがわかった。また、 ± 500 0e と印加する磁場を小さな範囲で変化させると、NiFe 自由磁性体層の磁化方向のみを反転できることもわかった。このように、自由磁性体層(制御ゲート)と固定磁性体層(浮遊ゲート)の磁化特性に関しては、想定した通りの結果が得られたので、MOS キャパシタを作製して磁気トンネル効果による C-V 特性、I-V 特性の変化を測定した。C-V 特性には自由磁性体層(制御ゲート)からの電子の注入、放出によるヒステリシスが観測された。ヒステリシスの大きさ(V_{FB} の変動幅)は、自由磁性体層(制御ゲート)と固定磁性体層(浮遊ゲート)の磁化の方向が平行の時に大きく、反平行の時に小さくなるという結果が得られた。また、自由磁性体層(制御ゲート)と固定磁性体層(浮遊ゲート)の磁化の方向が平行の時に大きなトンネル

電流が流れ、反平行の時にトンネル電流が減少するという結果も得られた。以上の結果から、固定磁性体層(浮遊ゲート)と自由磁性体層(制御ゲート)の間で、スピンの依存した磁気トンネル効果が起きることを確認できた。

次に、良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの実現を目指して、磁気ナノドット形成方法の検討と特性の評価を行った。磁気ナノドットには、 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 以上のドット密度と 1 K0e 以上の高い保持力、 400°C 以上の耐熱性が要求される。そこで、本研究では、従来より約2桁高いドット密度($2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$)をもつ磁気ナノドットの成膜方法を確立するとともに、この方法を用いて形成した FePt 磁気ナノドットの熱処理(アニール)による磁化特性の変化を重点的に評価した。アニール方法としては、ナノドット膜形成後そのまま超高真空中で熱処理する In-situ アニールと、真空中で磁場を印加しながら熱処理する磁場中アニールを検討した。その結果、In-situ アニールでは、 600°C 以上のアニールで、10 K0e 以上という大きな保磁力が得られ、また、 800°C という高温のアニールを行っても、FePt ナノドットが良好な磁化特性を示すことなどが明らかになった。In-situ アニールではナノドットの粒径や密度の制御も容易で、条件を最適化すれば、単層のナノドット膜を形成することもできた。このような FePt 磁気ナノドット膜の磁化の状態を電子線ホログラフィーによって観察することを試みた。電子線ホログラフィー位相写真の白線パターンの間隔からナノドットの磁化の強さを算出することを試み、17～29 K0e という値を得ることができた。この値は VSM や SQUID による磁化特性の測定結果ともよく一致している。

磁場中アニールの効果については、X 線回折 (XRD) と電子線回折 (SAD) を用いて結晶構造の変化を調べた。その結果、アニール中の磁場の強さを大きくするとともに FePt ナノドットの結晶構造が fcc 構造から強磁性を発現する fct (L_{10}) 構造へと相変換を起こすことがわかった。また、磁場中アニールした FePt ナノドットの磁化特性をの測定結果から、磁場中アニール中の磁場の強さを大きくするとともに磁化特性が改善されることがわかった。 700°C (1 時間)、20 K0e の磁場中アニールで、20 K0e 以上という大きな保持力が得られた。このような FePt ナノドット膜断面の電子線ホログラフィー測定から、各ドットの磁化の方向が膜に並行な方向に揃う傾向にあることがわかった。また、磁場中アニールした FePt ナノドット膜が磁場印加無しでアニールした膜に比べて磁化の強さが著しく増すことも、電子線ホログラフィーを用いて確認できた。

以上のように、高い保持力をもち、耐熱性にも優れた高密度磁気ナノドットの作製に成功したが、本研究で提案する磁気ナノドットメモリでは、固定磁性体層最上面の磁気ナノドットへの電子のトンネルがメモリ特性に大きな影響をもつと考えられるので、最上面の磁気ナノドットの振る舞いについて更に詳細に調べた。特に、金属ナノドットの酸化状態について詳細に調べた。固定磁性体層最上面の磁気ナノドットほど酸化される可能性が高いが、メモリ特性に大きな影響をもつ最上面の磁気ナノドットが酸化されると、電子のスピンの依存したトンネル(磁気トンネル効果)が起こりにくくなる。そこで、XPS(X 線光電子

分光法)を用いて、FePt ナノドット膜やトンネル酸化膜の原子の結合状態やバンド構造の解析を行った。磁気ナノドットが酸化されると、FePt ナノドット膜やトンネル酸化膜の原子の結合状態が変化すると考えられる。FePt ナノドット膜の XPS スペクトル測定結果から、ナノドット膜堆積直後 (as-depo) はナノドット膜中の Fe、Pt とともに一部酸化されており、高温における超高真空中の In-situ アニールによって、酸化された Fe、Pt が還元されて純粋な FePt ナノドットに変わることが明らかになった。また、Fe、Pt の還元に伴って、FePt ナノドット膜母材の SiO₂ 膜も、酸素と未結合のシリコン原子が減って良質の SiO₂ 膜になることも確認できた。このように、FePt ナノドット膜は、高温における超高真空中の In-situ アニールによって膜質が改善されることがわかった。次に、XPS のエネルギー損失スペクトルから、FePt ナノドット膜の母材の SiO₂ 膜のバンドギャップ・エネルギーを算出することを試みた。その結果、as-depo (as-grown) 膜では、バンドギャップの値が 7eV 以下と、熱酸化 SiO₂ 膜のそれ (~9eV) よりも小さくなっているが、高温で熱処理することによって、熱酸化 SiO₂ 膜のそれに近い値にまで増加することが明らかになった。このことから、超高真空中での In-situ アニールによって、FePt ナノドット膜の膜質が改善されることを確認できた。

以上のように、高い保持力をもち、耐熱性、膜質にも優れた高密度磁気ナノドットの作製技術を確立できたので、その技術を用いて磁気ナノドットメモリの実現を目指した。磁気ナノドットメモリを実現するためには、磁気ナノドットメモリトランジスタと電流磁場発生のための書込み信号線(ワード線、ビット線)を形成する技術、メモリトランジスタの直下に磁気書き込み用ワード線を埋め込むためのウェーハ張りあわせ技術を確立する必要がある。磁気書き込み信号線(ワード線、ビット線)形成技術に関しては、CMP (Chemical Mechanical Polishing) と銅メッキを用いた銅ダマシン技術を利用して、絶縁膜中に、薄い NiFe 膜で被覆された銅配線層を埋め込むことに成功している。磁気書き込み信号線となる銅配線を被覆する薄い NiFe 膜(ヨーク層)が磁場を閉じ込めるために有効に働くことも MFM (Magnetic Force Microscopy) を用いて確認している。また、ウェーハ張りあわせ技術に関しても、SOI ウェーハに形成した MOS トランジスタを、ウェーハ張りあわせ技術を用いて埋め込みワード線を形成したウェーハに張り合わせ転写する技術を確立している。磁気ナノドットメモリトランジスタに関しては、通常の MOS トランジスタ作製方法を採用できないため、いろいろな作製方法を検討した。これは、磁気ナノドットメモリトランジスタの作製においては、制御ゲート電極となる NiFe が高温での熱処理に耐えられないからである。そこで、本研究では、最終的に 2 通りの作製方法にしばって磁気ナノドットメモリの作製を行った。ダマシゲート法を用いた作製方法と非自己整合ゲート法による作製方法である。ダマシゲート法を用いた作製方法は、ゲート電極をソース、ドレインに自己整合で形成できるので、メモリトランジスタの微細化が容易である。しかし、作製プロセスが複雑なため、試作が難しい。一方、非自己整合ゲート法による方法を用いると、ゲー

ト電極をソース、ドレインに自己整合で形成できないので、メモリトランジスタの微細化が難しくなる。しかし、作製プロセスがそれほど複雑でないことから、試作しやすい。以上の2通りの作製方法による磁気ナノドットメモリトランジスタの試作を並行して進めた。しかし、試作を進めるに当たっては、様々な要素技術を確認しながら試作を進めなければならなかったため、試作は難航した。その中でも特に、技術の確認に時間がかかったのが、ダマシゲート技術の確認である。本研究におけるような磁気ナノドット膜と磁性ゲート電極から成るダマシゲートの作製はこれまでに例が無い。NiFe 膜の成膜方法やCMP (Chemical Mechanical Polishing) の条件等を最適化することにより、磁気ナノドット膜と磁性ゲート電極から成るダマシゲートが良好に形成できることがわかった。しかし、ダマシゲート法による磁気ナノドットメモリトランジスタは、所定の特性を得るために最適化しなければならないパラメータが多すぎるため、現時点ではまだ良好なメモリ特性を示す素子が得られていない。現在、試作を続行中で、近いうちに良好な特性をもつ素子が得られるものと考えている。一方、非自己整合ゲート法による磁気ナノドットメモリトランジスタの作製においても、いろいろと問題が発生した。特に大きな問題となったのが、磁気ナノドット膜と磁性ゲート電極から成るゲート構造の微細加工である。種々のプラズマエッチング手法を検討したが、エッチングに伴う反応生成物の付着を抑制できず、時間的な問題もあって検討を中断せざるを得なかった。プラズマエッチングに替えて、イオンミリング法を採用することによって漸く、良好なゲート電極と磁気ナノドット膜との加工が可能となった。これらの技術を用いて磁気ナノドットメモリトランジスタを作製した。作製した磁気ナノドットメモリトランジスタのサブスレッショールド特性(ドレイン電流-ゲート電圧特性)には大きなヒステリシスが現れており、不揮発性メモリトランジスタとして動作していることを確認した。しかし、外部印加磁場を変化させても電流-電圧特性には大きな変化が見られなかったため、磁気ナノドットを用いたメモリトランジスタでは磁気トンネル効果をまだ明確には確認できていない。同じ条件で作製した MOS キャパシタでも外部印加磁場の効果を評価したが、容量-電圧特性に大きなヒステリシスが見られたものの、磁場の効果は少しは現れているようであるがその効果は極めて小さいという結果が得られた。磁気ナノドットメモリトランジスタの試作のしやすさを考慮して、FePt ナノドットと NiFe 制御電極間のトンネル膜には SiO_2 膜を用いてきた。これまで、浮遊ゲートとして FePt 微細平面電極を用いた MOS キャパシタで磁気トンネル効果が確認されていたが、磁気ナノドットを有する MOS キャパシタを用いたこれまでの検討でも、トンネル膜として SiO_2 膜を用いた場合には、磁場の効果に対する特性の再現性が低いという傾向が得られていた。そこで、磁気ナノドットメモリトランジスタの試作と並行して、トンネル膜として、 SiO_2 よりも磁気トンネル効果が現れやすい Al_2O_3 を用いた構造の検討も行ってきた。その結果、磁気ナノドットを有する MOS キャパシタのゲート電流-電圧特性のヒステリシスに明確な磁場依存性が現れることを確認できた。MOS キャパシタを用いた実験で、磁場の効果に対する

特性の再現性が低い理由として、もう一つ、FePt ナノドットの磁化の方向のばらつきの影響が考えられる。電子線ホログラフイーによる評価結果からは、磁場中アニールすると磁気ナノドット膜の膜面方向に平行になるように FePt ナノドットの磁化の方向を揃えることができるとの結果を得ている。これまで、MOS キャパシタや磁気ナノドットメモリトランジスタの試作に際して、磁場中アニールをまだ採用してきていない。今後は、これらの結果を踏まえて、トンネル膜に良好な膜質の Al_2O_3 膜を採用するとともに、磁場中アニールを行って、磁気トンネル効果による良好なメモリ特性を示す磁気ナノドットメモリトランジスタの実現を目指す。

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

a) 目的および研究内容

本研究は、スピン状態と共鳴トンネル効果を利用した新しい不揮発性メモリである「共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリ」の動作確認と、それを用いたメモリベースの超高速・超省電力高性能の新しい回路とアーキテクチャの可能性を示すことを目的として研究を開始した。そのための具体的な目標として、1) 良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの形成方法を確立すること、2) 共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリを試作し、良好なメモリ動作を実証することを目標として研究を開始した。

5年間の研究計画の概要を下記に示す。研究期間の前半は、磁気ナノドットメモリ実現の鍵を握る磁気ナノドット形成プロセスの開発と、磁気ナノドット形成とメモリ試作に必要な装置の整備・改良に注力し、後半にこれらの技術と装置を用いて磁気ナノドットメモリを試作・評価することとした。

平成 14 年度(5 ヶ月)：磁気ナノドット形成プロセスの開発、試作装置の整備

平成 15 年度：磁気ナノドット形成プロセスの開発、試作装置の整備・改良、プロセス評価 TEG 設計

平成 16 年度：磁気ナノドット形成プロセスの開発、試作装置の改良、メモリ特性評価 TEG 設計、不揮発性メモリ単体試作

平成 17 年度：磁気ナノドットメモリの試作、評価装置の整備

平成 18 年度：磁気ナノドットメモリの試作および評価、メモリテスト回路設計

平成 19 年度：磁気ナノドットメモリの試作および評価、まとめ

研究を開始するに当たって、メモリの安定な磁気書込み動作を可能とするために、目標とする保持力を、自由磁性体に対して 50~100 Oe、固定磁性体に対して 1 KOe 以上に設定した。研究開始当初は、浮遊ゲートとなる磁気ナノドットを自由磁性体として使用するこ

とを考えていた。そのため、軟質磁性体特性を示す NiFe、Fe、FeSi 磁気ナノドットについて重点的に検討した。ナノドットの形成方法としては、研究代表者の開発した SAND (Self Assembled Nano-Dot Deposition) 法と MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法の二通りの方法を採用した。しかし、良好な軟質磁性体特性を示す磁気ナノドットがなかなか実現できなかったため、硬質磁性体特性を示す磁気ナノドットを固定磁性体として働く浮遊ゲートとして用い、制御ゲートを自由磁性体で構成する構造も併せて検討することとした。そのため、磁気ナノドットとして Co ナノドットの検討も開始した。固定磁性体として用いる磁気ナノドットに対しては、磁気ナノドットの特性ばらつきと熱安定性を考慮して、保持力の目標値を 5 K0e 以上になるよう変更した。しかし、Co ナノドットを用いてある程度良好な磁化特性が得られるようになったものの、再現性が悪いことから、良好な硬質磁性体特性が期待できる FePt ナノドットの検討も開始した。FePt ナノドットの検討が Co ナノドットの検討よりも後になったのは、FePt 合金でナノドットを形成できるかどうか確認が得られなかったからである。しかし、SAND 法を用いて、母材となる SiO₂ 膜の中に FePt ナノドットを分散させることによってある程度良好な磁化特性をもつ FePt 磁気ナノドットが得られることがわかったので、その後は FePt 磁気ナノドットを重点的に検討した。しかし、FePt 磁気ナノドットを用いて磁気ナノドットメモリを作製するためには、FePt 磁気ナノドットが高温の熱処理に耐える必要があるが、通常の熱処理を行うと、FePt がその母材となっている SiO₂ 膜中を拡散してドット径が増大するという問題が発生した。FePt 磁気ナノドット膜の高温熱処理は、磁化特性を改善するためにも必要である。そこで、ドット径を増大させずに、良好な硬質磁性体特性をもつ FePt 磁気ナノドットを形成するための高温熱処理方法として、真空中電気炉アニール、窒素雰囲気中電気炉アニール、真空中磁場印加電気炉アニール、成膜装置中での in-situ アニールなど、様々なアニール方法を検討した。その結果、真空中磁場印加電気炉アニール(磁場中アニール)、in-situ アニールを用いることによって、ドット径が 5nm 以下で、良好な硬質磁性体特性をもつ FePt 磁気ナノドットが得られるようになった。このように良好な特性をもつ FePt 磁気ナノドットが得られるようになったのは、磁性膜用スパッタ装置や薄膜堆積装置の導入によるところが大きい。

FePt 磁気ナノドットの検討と並行して、磁気トンネル効果によるメモリ効果を確認するために、浮遊ゲートに FePt ナノドットではなく、FePt 平板電極を用いた MOS キャパシタを作製し、容量-電圧特性、電流-電圧特性に電氣的ヒステリシス、磁氣的ヒステリシスを観測することに成功した。FePt 平板電極を用いた MOS キャパシタで磁気トンネル効果によるメモリ効果を確認することができ、また、良好な磁性体特性をもつ FePt 磁気ナノドットを形成するも可能となったので、浮遊ゲートに FePt 磁気ナノドットを用いた磁気ナノドットメモリトランジスタの試作を開始した。しかし、磁気ナノドットメモリトランジスタ動作の基本となる電氣的ヒステリシス、磁氣的ヒステリシスが観測できなかったため、トンネル酸化膜である SiO₂ 膜の膜質改善、ブロック酸化膜の膜厚の最適化を行い、電氣的ヒス

テリシスの観測には成功した。これによって不揮発性メモリとして動作することは確認できたが、磁気トンネル効果による明確な磁気的ヒステリシスは観測できなかった。そこで、その原因を解明するために、磁気トンネル効果に大きな影響をもつと思われる FePt 磁気ナノドット膜表面層の構造解析とナノドットの磁化状態の直接観察を行うことを試みた。FePt 磁気ナノドット膜表面層の構造解析には XPS (X 線光電子分光法) を、ナノドットの磁化状態の直接観察には電子線ホログラフィーを用いた。これらは当初の計画にはなかったことである。これらの検討結果から、ナノドット膜形成状態のままでは FePt 磁気ナノドットの表面が酸化されているが、高温の in-situ アニールを行うことによって、ナノドット表面の酸化物が還元されて FePt 金属相が現れること、磁場中アニールによって FePt 磁気ナノドットの磁化の方向を制御できることがわかった。また、これらの検討と並行して、磁気トンネル効果の発現に大きな影響をもつトンネル絶縁膜材料についても検討した。検討した材料は、スパッタ SiO_2 膜、LPCVD- SiO_2 (TEOS) 膜、プラズマ酸化 Al_2O_3 膜、スパッタ MgO 膜である。その結果、トンネル絶縁膜としてプラズマ酸化 Al_2O_3 膜を用いた FePt 磁気ナノドット MOS キャパシタの電流-電圧特性に磁気的ヒステリシスが現れることを確認できた。以上の検討結果を反映した磁気ナノドットメモリトランジスタは現在試作中である。

なお、FePt 磁気ナノドットの検討と並行して、磁気ナノドットメモリトランジスタの作製プロセスの検討も行ってきた。磁気ナノドットメモリトランジスタは制御ゲートとして耐熱性の低い NiFe 電極を用いるため、通常の CMOS プロセスは使えない。そこで、本研究では、新たに、NiFe ダマシゲート技術を用いた磁気ナノドットメモリトランジスタ作製プロセスの開発を行った。この作製プロセスでは、イオン注入により形成したソース・ドレイン領域を高温でアニールした後 NiFe 制御ゲートを形成できるので、自由磁性体として働く NiFe の磁気特性を劣化させる恐れがない。また、ダマシゲート技術を用いているので、ゲート電極とソース・ドレインを自己整合で形成でき、メモリトランジスタの微細化も可能である。しかし、耐熱性の低い磁性材料をゲート電極としたダマシゲート技術によるトランジスタの作製はこれまで例が無く、技術の確立まで多くの時間を要したが、何とか技術も確立できて現在、この技術を用いた磁気ナノドットメモリトランジスタを作製中である。以上のように、NiFe ダマシゲート技術を用いた磁気ナノドットメモリトランジスタは作製工程が長く、技術も難しいことから、もっと短い工程で簡単に作製できる磁気ナノドットメモリトランジスタの作製プロセスも検討した。この作製プロセスは、ソース・ドレインを形成した後 NiFe 制御ゲートを形成するという点では、NiFe ダマシゲート技術を用いたプロセスと同じであるが、NiFe ダマシゲート技術と違って、ゲート電極とソース・ドレインを自己整合で形成できない。ゲート電極とソース・ドレインの間にはホトリソグラフィ工程における位置あわせが必要となるので、メモリトランジスタの微細化はしにくい。しかし、ダマシゲート技術を用いた作製プロセスよりも工程が短いので、限られた期間でメモリトランジスタを繰り返し作製する必要がある場合に適したプロセスと言

える。但し、このプロセスでは、加工のしにくいNiFe 制御ゲートを微細加工する技術の確立が必要となるが、何とか技術も確立して、NiFe 磁気ナノドットメモリトランジスタの作製に成功している。作製したメモリトランジスタの電流-電圧特性には大きなヒステリシスが現れており、不揮発性メモリとして良好に働くことを確認している。しかし、まだ磁気的ヒステリシスの確認には成功していないので、前述の検討結果を取り入れたメモリトランジスタを現在作製中である。

なお、研究を遂行するにあたっては、研究組織を3つのグループに分け、研究代表者が研究全体の総括を行いながら研究分担者と連携、協力して研究を進めた。それぞれのグループの役割は下記のとおりである。

1) 磁気ナノドットメモリ設計・試作グループ

研究実施項目：磁気ナノドットメモリの設計、試作、評価およびメモリベース回路およびアーキテクチャの検討

研究概要：良好な磁化特性をもつ磁気ナノドットを形成する技術を確認するとともに、磁気ナノドットメモリ作製プロセスを開発する。磁気ナノドットメモリを実際に試作してその基本特性を評価する。磁気ナノドットメモリを用いたメモリベースの新しい回路とアーキテクチャについても検討する。

2) モデリンググループ

研究実施項目：磁気ナノドットメモリのモデリングおよびシミュレーション

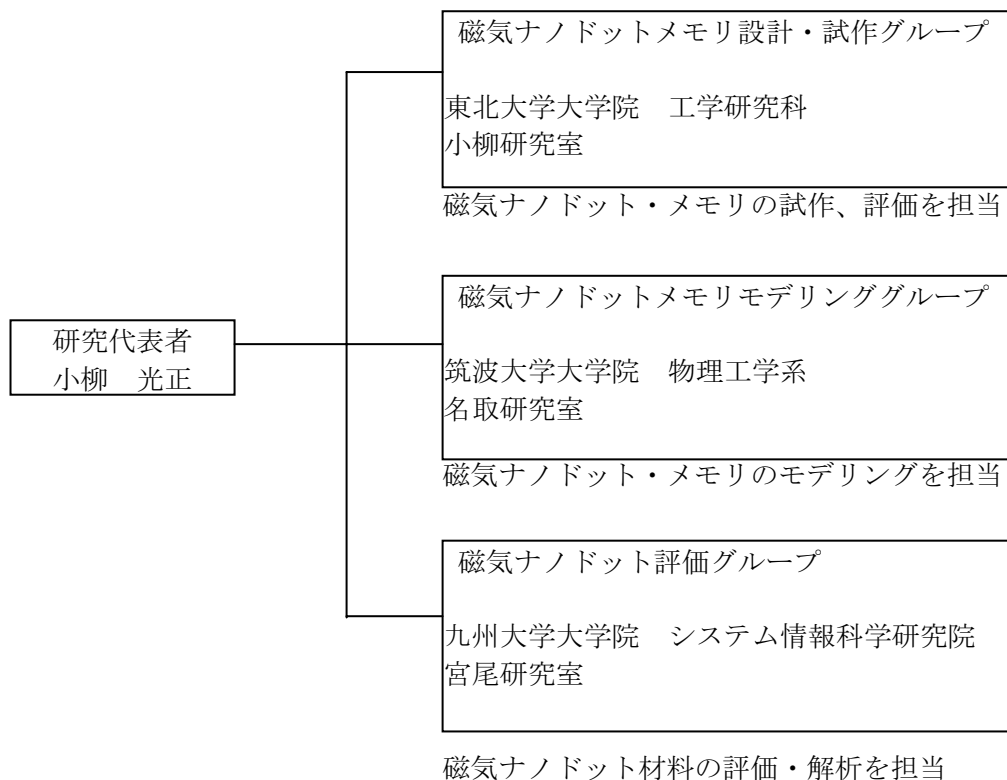
研究概要：極微細半導体デバイスと磁気トンネル接合素子用のデバイスモデリングとシミュレーション手法を基盤として、これらを統合した磁気ナノドットメモリ用の新しいデバイスモデリングとシミュレーション手法を確認する。また、磁気ナノドットメモリを用いたメモリベースの回路設計に必要な回路用デバイスモデルの開発も行なう。

3) ナノドット評価グループ

研究実施項目：磁気ナノドット材料の評価・解析

研究概要：複数の磁気ナノドット形成用材料を検討し、その結晶学的、磁気材料的性質を明らかにするとともに、磁気ナノドット形成手法の検討を行なう。

(2) 実施体制



3 研究実施内容及び成果

3. 1 磁気ナノドットメモリの設計、試作および評価 (東北大学 小柳グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

本研究で提案した磁気ナノドットメモリは、磁界によってスピンの方向を変えられる自由磁性体層と磁気ナノドットから成る固定磁性体層から構成される MTJ (Magnetic Tunnel Junction) と、増幅素子として働く SOI・MOS トランジスタが融合した構造をもち、磁気ナノドットの TMR 効果を利用して書き込み、保持特性の改善を行うとともに、磁気ナノドットの保持する電荷による MOS トランジスタのしきい値電圧の変化を信号として読み出す。このような原理と構造を有する不揮発性メモリはこれまで提案されていない。このような磁気ナノドットメモリ実現の鍵を握るのは、1) 良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの形成と、2) 浮遊ゲートである固定磁性体層と制御ゲートである自由磁性体層の間のスピン依存磁気トンネル効果(磁気トンネル効果)の発現である。よく知られるように、磁性材料はその寸法が 10 nm 以下にまで縮小されると、超常磁性効果のために磁性を発現しなくなる可能性がある。そこで、本研究では、良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの実現と、浮遊ゲートと制御ゲートの間の磁気トンネル効果の検証とを分離して行い、それらの結果を合わせて磁気ナノドットメモリを作製することとした。まず、浮遊ゲートと制御ゲートの間の磁気トンネル効果の検証を行った。検証に際しては、磁気トンネル効果を

明確に観察するために、浮遊ゲートである固定磁性体層として、磁気ナノドットではなく平板状の磁性電極を用いた。まず、平板状の FePt 固定磁性体層(浮遊ゲート)と NiFe 自由磁性体層(制御ゲート)を有する試料(図 2(a))を用いて磁化特性を評価した。その結果、図 2(b)に示すように、小さな磁場(210 Oe)で NiFe 自由磁性体層が磁化の方向を反転し、大きな磁場(1600 Oe)で FePt 固定磁性体層が磁化の方向を反転することがわかった。また、図 2(c)に示すように、 ± 500 Oe と印加する磁場を小さな範囲で変化させると、NiFe 自由磁性体層の磁化方向のみを反転できることもわかった。次に、図 3(a)に示すような MOS キャパシタを作製して磁気トンネル効果による C-V 特性、I-V 特性の変化を測定した。この MOS キャパシタは単位ゲートと称する微細 MOS キャパシタを多数並列接続した構成となっている。単位ゲートのゲート面積は $0.5 \times 1.0 \mu\text{m}^2$ であり、総ゲート面積は $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ である。測定結果を図 3(b)、図 3(c)に示す。図 3(b)に示すように、C-V 特性には自由磁性体層(制御ゲート)からの電子の注入、放出によるヒステリシスが観測されている。ヒステリシスの大きさ(V_{FB} の変動幅)は、自由磁性体層(制御ゲート)と固定磁性体層(浮遊ゲート)の磁化の方向が平行の時に大きく、反平行の時に小さくなっている。また、図 3(c)に示すように、自由磁性体層(制御ゲート)と固定磁性体層(浮遊ゲート)の磁化の方向が平行の時に大きなトンネル電流が流れ、反平行の時にトンネル電流が減少している。以上の結果から、固定磁性体層(浮遊ゲート)と自由磁性体層(制御ゲート)の間で、スピンに依存した磁気トンネル効果が起きることを確認できた。

MOS キャパシタによる磁気トンネル効果の確認と並行して、ナノドット評価グループと共同で、良好な磁気特性を有する磁気ナノドットの形成方法について検討した。

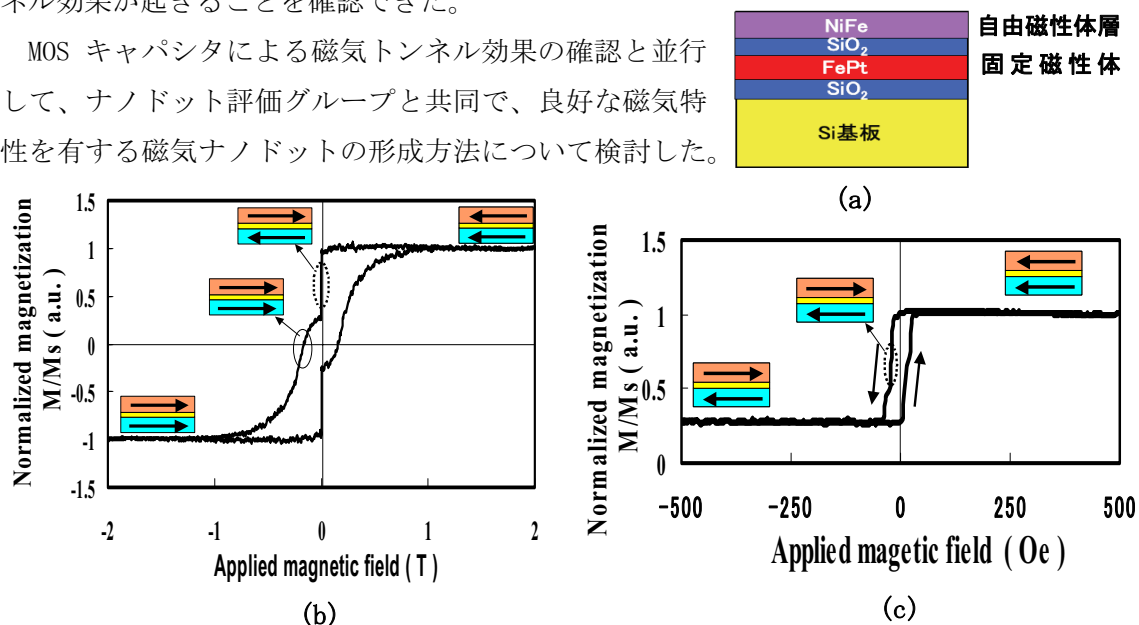


図2 平板状固定磁性体層(FePt 浮遊ゲート)と平板状自由磁性体層(NiFe 制御ゲート)を有する試料の磁化特性

研究開始当初は、浮遊ゲートとなる磁気ナノドットを自由磁性体として使用することを考えていたため、軟質磁性体特性を示す NiFe、Fe、FeSi 磁気ナノドットについて重点的に検討した。ナノドットの形成方法としては、研究代表者の開発した SAND (Self Assembled

Nano-Dot Deposition) 法と MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法の二通りの方法を採用した。しかし、良好な軟質磁性体特性を示す磁気ナノドットがなかなか実現できなかったため、硬質磁性体特性を示す磁気ナノドットを固定磁性体として働く浮遊ゲートと

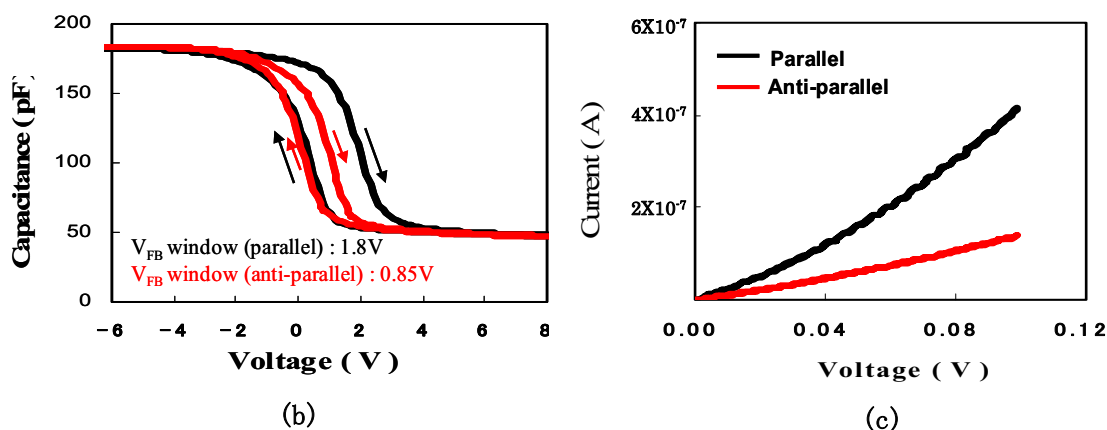
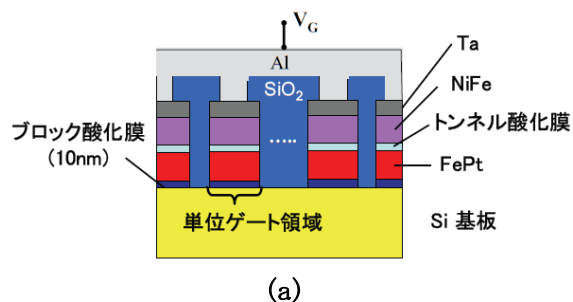


図3 微細FePt浮遊ゲートをもつMOS構造の容量-電圧(C-V)特性および電流-電圧(I-V)特性

して用い、制御ゲートを自由磁性体で構成する構造も併せて検討することとした。そのため、磁気ナノドットとして Co ナノドットの検討も開始した。しかし、Co ナノドットを用いてある程度良好な磁化特性が得られるようになったものの、再現性が悪いことから、良好な硬質磁性体特性が期待できる FePt ナノドットの検討も開始した。当初は、FePt 合金でナノドットを形成できるかどうか不安であったが、SAND 法を用いて、母材となる SiO₂ 膜の中に FePt ナノドットを分散させることによって FePt ナノドットを形成できることがわかったので、その後は FePt 磁気ナノドットを重点的に検討した。図 4 に、FePt ナノドット膜の TEM 断面観察写真を示す。FePt ナノドットが 10¹³ cm⁻³ 以上の高密度で多層に形成されて

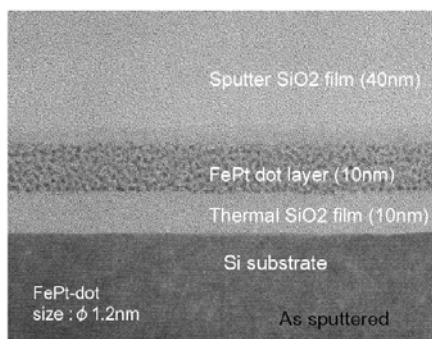


図4 FePt磁気ナノドットのTEM断面観察写真

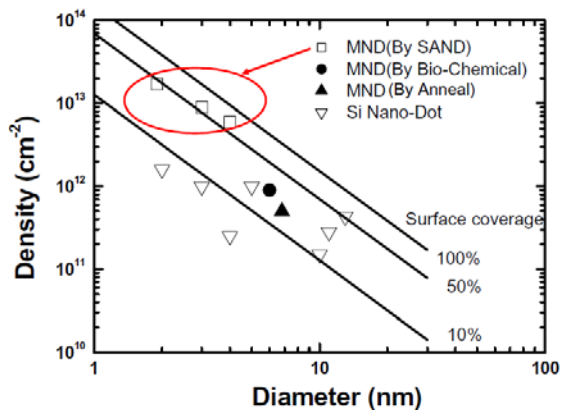


図5 これまで報告されたナノドットの密度とドット径の関係

いる。ナノドットの平均粒径も 1.2nm と極めて小さい。磁気ナノドットに限らず、このように高密度でドット径の小さなナノドットに関しては、本研究を開始した頃はあまり報告が無かった(図 5 参照)。最近になって、化学的な手法やスパッタ蒸着法を用いて高密度のナノドットを形成したという報告が増えてきている。しかし、耐熱性に優れたナノドットについての報告はまだ少ない。SAND 法により形成した FePt ナノドット膜の磁化特性を SQUID により測定した結果を図 6 に示す。図からわかるように、as-depo 状態の FePt ナノドット膜ではヒステリシスが見られないが、600℃以上でアニール(RTA)した膜では顕著なヒステリシスが観測され、FePt ナノドットが良好な磁性を示すことが確認された。しかし、このような FePt ナノドット膜をもつ MOS 構造(NiFe ゲート)の容量-電圧特性は印加する磁場の方向を変えても変わらなかった。また、650℃でアニールした MOS 構造では、シリコン基板側からナノドットへ向けて電子が注入されることによって生じるヒステリシスが観測された。本研究で提案する磁気ナノドット不揮発性メモリでは、NiFe 制御ゲート側からナノドットへ向けて電子が注入されなければならないため、このままでは磁気ナノドット不揮発性メモリとして動作しないことになる。この原因を探るため、アニールによる FePt ナノドットの形状と構造の変化を TEM により観察した。

図 7 に、650℃、10 分 RTA(Rapid Thermal Anneal) 後の TEM 断面観察写真を示す。図から、650℃、10 分の RTA を行くと、ナノドットの粒径が急激に大きくなるとともに、FePt ナノドットがブロック酸化膜-シリコン基板界面近傍にまで拡散してくることが確認された。ブロック酸化膜-シリコン基板界面近傍にまで拡散してきた FePt ナノドットはシリコン基板側からの電子の注入を促進すると考えられるので、良好な特性を有する磁気ナノドットメモリを実現するためにはアニールによるナノドット粒径の急増とシリコン基板表面近傍へのナノドットの拡散を極力抑制する必要がある。処で、図 7 に示したような RTA によるナノドットの粒径の急激な増加と拡散は RTA 特有のアニール特性にあると考えられる。RTA は赤外線ランプを用いた急速アニールであるが、シリコン酸化膜中に FePt ナノドットが分散された FePt ナノドット膜を赤外線ランプを用いて急速アニールすると、FePt ナノドットに集中的に赤外線のエネルギーが吸収されることになる。そのため、FePt ナノドットの温度が局部的に異常に高くなり、FePt ナノドットの熱的分解や拡散、凝集が起こると考

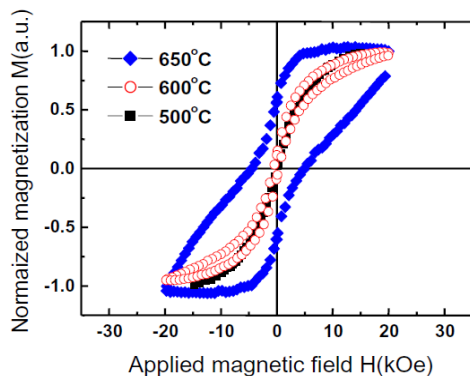


図6 FePt磁気ナノドットの磁化特性

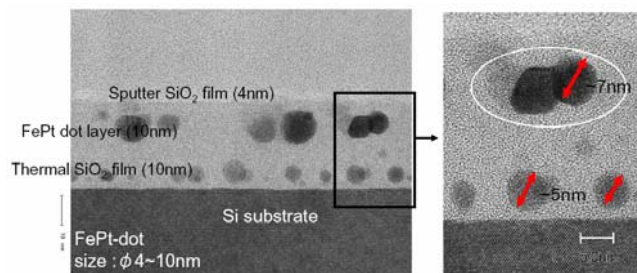


図7 RTA後のFePtナノドットのTEM断面観察写真

られる。実際、RTA でなく通常の電気炉アニール(窒素ガス雰囲気)を行うと、FePt ナノドットのみが局部的に熱せられるということが避けられることから、900℃、30 分のアニールでも粒径の急激な増加と拡散はある程度抑えられことがわかった。

以上のことから、良好な特性をもつ磁気ナノドット不揮発性メモリを実現するためには、粒径の増大と拡散を抑えながら良好な磁気特性をもつ FePt ナノドットを形成することが重要となるとの知見を得た。そこで、FePt ナノドット膜形成条件の最適化や、真空中での磁場中アニール、FePt ナノドット拡散抑止膜の挿入などによる FePt ナノドット膜の特性改善効果について検討した。図 8 は FePt ナノドット膜とブロック酸化膜の間に拡散抑止膜としてシリコン窒化膜を挿入して RTA を行った場合の TEM 断面観察写真である。図からわかるように、RTA 後でも、ブロック酸化膜中に FePt ナノドットが観測されないことから、シリコン窒化膜を挿入することによって FePt ナノドットの拡散を抑えることができた。FePt ナノドットの拡散防止の結果として、ナノドット粒径の急激な増加も抑制された。XRD 分析の結果から、600℃以上の RTA で形成した FePt ナノドット膜は磁気特性に優れた FePt-L10 構造であることもわかった。このような FePt-L10 構造を有するナノドット膜の SQUID に

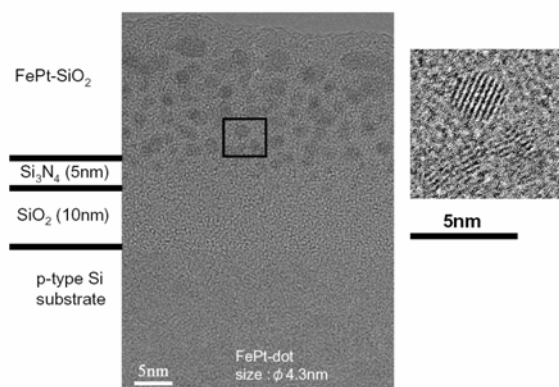


図8 シリコン窒化膜挿入後のFePtナノドットのTEM断面観察写真

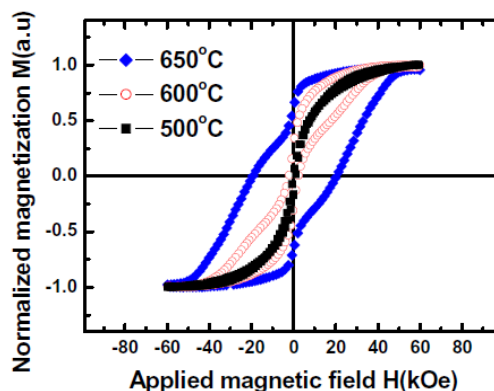


図9 シリコン窒化膜挿入後のFePtナノドットの磁化特性

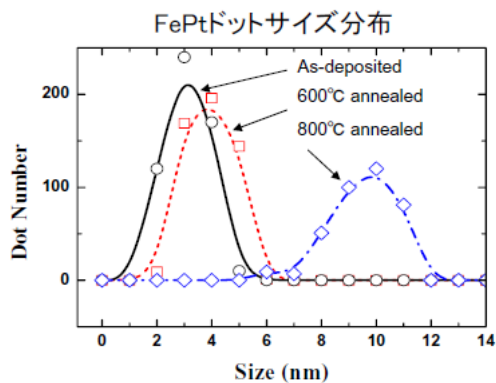


図10 In-situアニールによるFePtドット径の変化

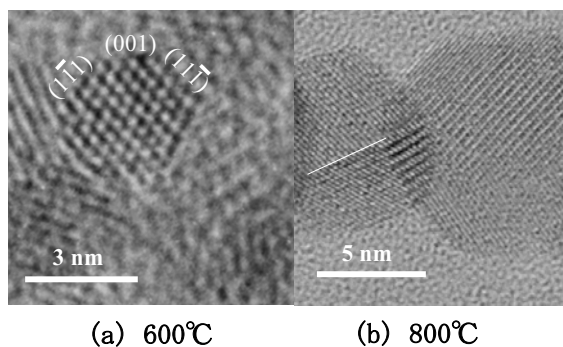


図11 In-situアニール後のFePtナノドットのTEM断面観察写真

よる磁気特性の測定結果を図 9 に示す。図から、このような FePt ナノドットは 22K0e 以上の大きな保磁力をもつ強磁性体となっていることがわかる。このように大きな保磁力をもつ磁気ナノドットはこれまで報告されていない。

磁気ナノドットの熱処理による効果について更に詳細に評価した。熱処理方法として、RTA 以外に、ナノドット膜形成後そのまま超高真空中(1×10^{-5} Pa)で熱処理する In-situ アニールと、真空中で磁場を印加しながら熱処理する磁場中アニールも検討した。その結果、図 10 に示すように、as-depo 状態で 2.9 nm であった平均ドット径が、In-situ アニールでは、600℃という高温のアニールを行っても、3.8 nm とわずかな増加に抑えることが出来た。アニール温度を 800℃まで上げると、平均ドット径は 8.3 nm まで増加した。しかし、このような高温のアニールを行っても、FePt がナノドット膜下のブロック酸化膜（熱酸化膜）中に拡散したり、ナノドットが凝集して巨大化するような現象は見られなかった。図 11 は、In-situ アニール後の FePt ナノドットの TEM 断面観察写真である。図から明らかなように、600℃で In-situ アニールした FePt ナノドットはドット内が完全に単結晶となっている。800℃で In-situ アニールするとドット径が増大して一部に多結晶相が現れるようになる。

なお、In-situ アニールはナノドットの粒径や密度の制御も容易で、条件を最適化することによって、図 12 に示すように、単層のナノドット膜を形成することにも成功した。In-situ アニールした FePt ナノドットは良好な磁化特性を示し、図 13 に示すように、600℃以上のアニールで、10 K0e 以上という大きな保磁力が得られた。In-situ アニールした FePt

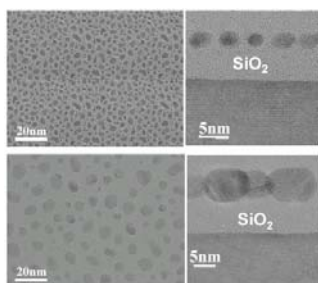


図12 In-situアニールにより形成した単層FePtナノドットの表面観察写真およびTEM断面観察写真

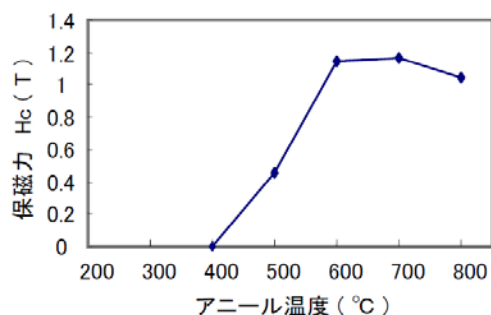


図13 In-situアニールしたFePtナノドットの保磁力のアニール温度依存性

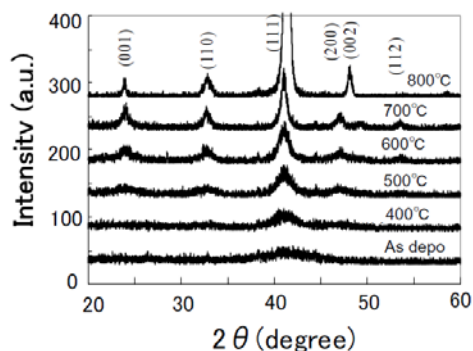


図14 In-situアニールしたFePtナノドットのX線回折(XRD)結果

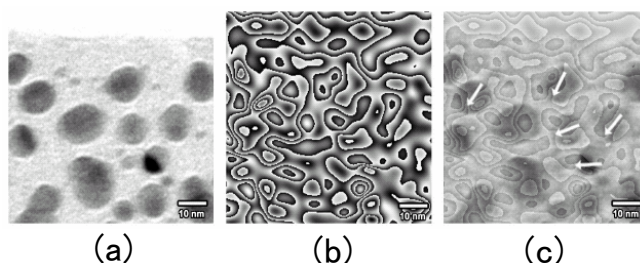


図15 In-situアニールしたFePtナノドットの電子線ホログラフィー観察結果

ナノドットでこのような良好な磁化特性が得られるのは、図 14 の XRD 分析の結果から明らかのように、600℃以上のアニールで、FePt ナノドットの結晶構造が fcc 構造から強磁性を発現する fct (L_{10}) 構造へと相変換を起こすことによる。このような FePt 磁気ナノドット膜の磁化の状態を電子線ホログラフィーによって観察することを試みた。800℃で、In-situ アニールした FePt ナノドット膜（平均粒径 6~8 nm）の観察結果を図 15 に示す。図 15(a) は FePt ナノドットの TEM 観察写真、図 15(b) は電子線ホログラフィーの位相写真である。図 15(c) はその合成写真である。図 15(b) の位相写真の白線パターンの間隔からナノドットの磁化の強さを算出でき、17~ 29 KOe という値が得られた。この値は VSM や SQUID による磁化特性の測定結果ともよく一致している。また、図 15(c) には磁化の方向を白い矢印で示しているが、磁化の方向が膜方向に揃う傾向が見られる。これは、熱処理によって、FePt ナノドット径がある程度増加するが、増加の割合が膜垂直方向よりも膜面方向が大きいと考えられる。このように、磁化容易軸が膜面方向となることは、磁気ナノドットメモリの実現と言う点では好ましい。なお、このように微細なドット径を有する磁気ナノドットの磁化状態の観測に成功したのは本研究が初めてである。

次に、磁場中アニールの結果について示す。図 16 は磁場中アニールした FePt ナノドットの X 線回折 (XRD) 結果である。図からわかるように、アニール中の磁場の強さを大きくするとともに FePt ナノドットの結晶構造は fcc 構造から強磁性を発現する fct (L_{10}) 構造へと相変換を起こしている。磁場中アニールによって fct (L_{10}) 構造が現れることは、

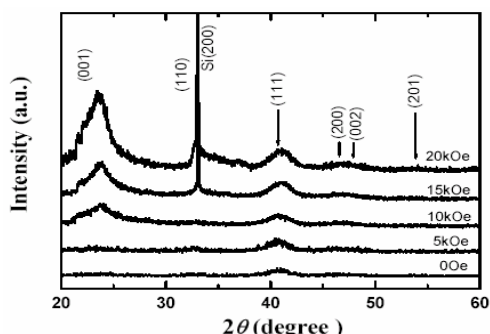


図16 磁場中アニールしたFePtナノドットのX線回折(XRD)結果

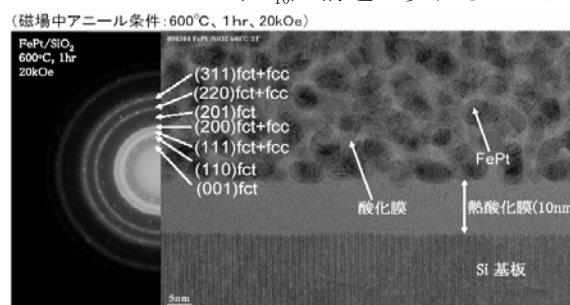


図17 磁場中アニールしたFePtナノドットの電子線回折(SAD)結果

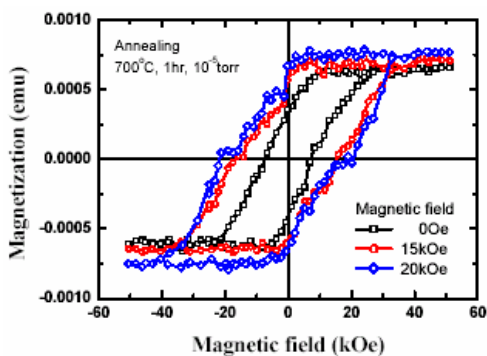


図18 磁場中アニールしたFePtナノドットの磁化特性

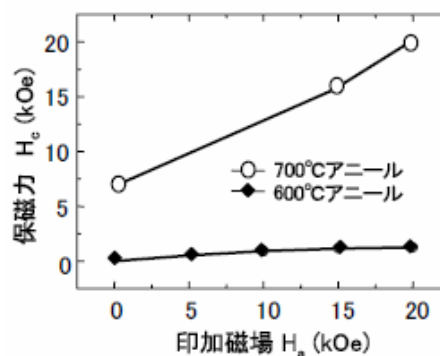


図19 磁場中アニールしたFePtナノドットの保磁力の印加磁場依存性

図 17 の電子線回折 (SAD) 測定結果からも明らかである。図 18 に、磁場中アニールした FePt ナノドットの磁化特性を示す。図からわかるように、磁場中アニール中の磁場の強さを大きくするとともに磁化特性が改善されている。図 19 に示すように、700℃ (1 時間)、20 KOe の磁場中アニールで、20 KOe 以上という大きな保持力が得られた。高温の磁場中アニールによってこのように優れた磁化特性を有する磁気ナノドットを作製した例はこれまで報告されていない。このような FePt ナノドット膜について、電子線ホログラフィーを用いて、個々の FePt ナノドットが磁化している様子を直接観察することに成功した。図 20 に示した FePt ナノドット膜断面の電子線ホログラフィー写真から明らかなように、各ドットの磁化の方向が膜に平行な方向に揃う傾向にあることもわかった。また、電子線ホログラフィーを用いて、磁場中アニールした FePt ナノドット膜が磁場印加無しでアニールした膜に比べて磁化の強さが著しく増すことも確認できた。高温の磁場中アニールによって磁化

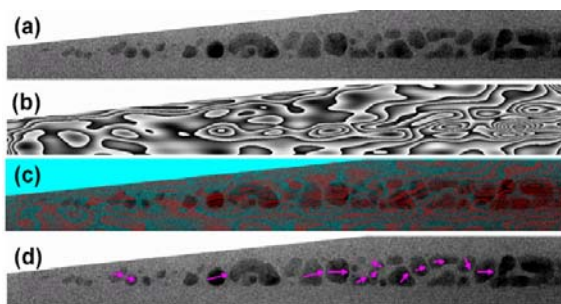


図20 FePtナノドット膜断面の電子線ホログラフィー写真 (a) TEM明視野像 (b) 電子線ホログラフィー位相マップ (c) 明視野像と位相マップの重合わせ (d) ナノドットの磁化方向

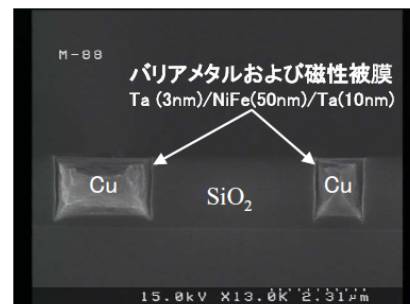


図21 薄いNiFe膜(ヨーク層)で被覆した埋込み銅配線のSEM断面観察写真

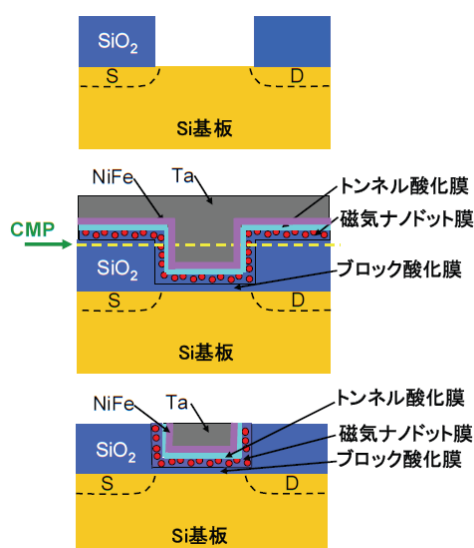


図22 ダマシニングート法による磁気ナノドットメモリトランジスタの作製工程

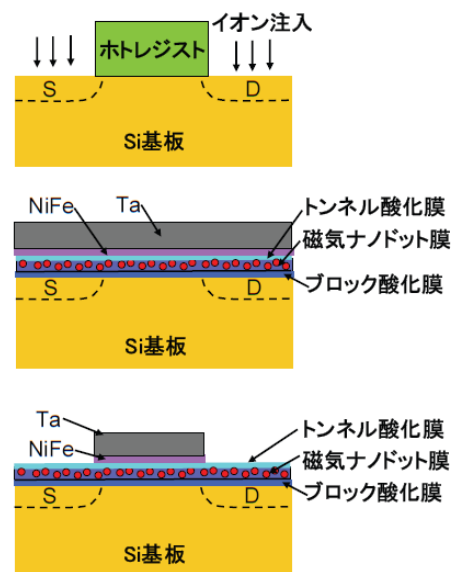


図23 非自己整合ゲート法による磁気ナノドットメモリトランジスタの作製工程

の方向が膜に平行な方向に揃う傾向にあることを FePt ナノドット断面の電子線ホログラフイーから明らかにしたのは本研究が初めてである。

以上のように、高い保持力をもち、耐熱性、膜質にも優れた高密度磁気ナノドットの作製技術を確認できたので、その技術を用いて磁気ナノドットメモリの実現を目指した。磁気ナノドットメモリを実現するためには、磁気ナノドットメモリトランジスタと電流磁場発生のための書き込み信号線(ワード線、ビット線)を形成する技術、メモリトランジスタの直下に磁気書き込み用ワード線を埋め込むためのウェーハ張りあわせ技術を確認する必要がある。磁気書き込み信号線(ワード線、ビット線)形成技術に関しては、図 21 に示すように、CMP(Chemical Mechanical Polishing)と銅メッキを用いた銅ダマシン技術を利用して、絶縁膜中に、薄い NiFe 膜で被覆された銅配線層を埋め込む技術を確認した。また、ウェーハ張りあわせ技術に関しても、SOI ウェーハに形成した MOS トランジスタを、ウェーハ張りあわせ技術を用いて埋め込みワード線を形成したウェーハに張り合わせ転写する技術を確認した。磁気ナノドットメモリトランジスタに関しては、通常の MOS トランジスタ作製方法を採用できないため、いろいろな作製方法を検討した。磁気ナノドットメモリトランジスタの作製においては、制御ゲート電極となる NiFe が高温での熱処理に耐えられないからである。最終的には、ダマシゲート法と非自己整合ゲート法という 2 通りの作製方法にしぼって磁気ナノドットメモリの試作を行った。ダマシゲート法を用いた作製方法は、図 22 に示すように、ゲート電極をソース、ドレインに自己整合で形成できるので、メモリトランジスタの微細化が容易である。しかし、作製プロセスが複雑なため、試作が難しい。一方、非自己整合ゲート法による方法を用いると、図 23 に示すように、ゲート電極をソース、ドレインに自己整合で形成できないので、メモリトランジスタの微細化が難しくなる。しかし、作製プロセスがそれほど複雑でないことから、試作しやすい。以上の 2 通りの作製方法による磁気ナノドットメモリトランジスタの試作を並行して進めた。

ダマシゲート法により作製した磁気ナノドットメモリトランジスタの SEM 断面観察写真を図 24 に示す。図から、磁気ナノドット膜と磁性ゲート電極(ゲート長 $0.18\mu\text{m}$)から

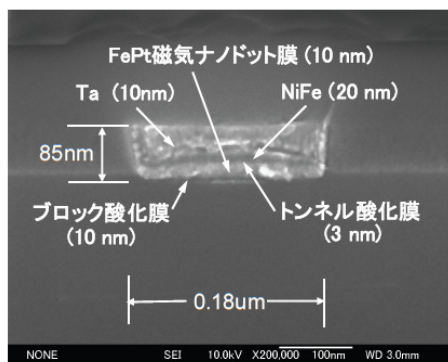


図24 ダマシゲート法により作製した磁気ナノドットメモリトランジスタのSEM断面観察写真

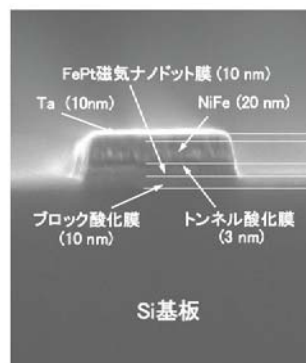


図25 イオンミリングにより形成した微細NiFe制御ゲート電極/FePtナノドット膜のSEM断面観察写真

成るダマシゲートが良好に形成されていることがわかる。しかし、ダマシゲート法による磁気ナノドットメモリトランジスタは、所定の特性を得るために最適化しなければならないパラメータが多すぎるため、現時点ではまだ良好なメモリ特性を示す素子が得られていない。現在、試作を続行中である。非自己整合ゲート法による磁気ナノドットメモリトランジスタの作製においては、磁気ナノドット膜と磁性ゲート電極から成るゲート構造の微細加工が大きな問題となった。最終的には、図 25 に示すように、プラズマエッチングをイオンミリングに変えることによって微細ゲート電極と磁気ナノドット膜との加工が可能となった。図 26 は非自己整合ゲート法により作製した磁気ナノドットメモリトランジスタの SEM 断面観察写真である。図から、磁気ナノドットメモリトランジスタが良好に作製できていることがわかる。作製した磁気ナノドットメモリトランジスタのドレイン電流-電圧特性を図 27 に示す。図から、良好なトランジスタ特性が得られていることがわかる。図 28 は、作製した磁気ナノドットメモリトランジスタのサブスレッシュホールド特性(ドレイン電流-ゲート電圧特性)である。図からわかるように、電流-電圧特性には大きなヒステリシスが現れており、不揮発性メモリトランジスタとして動作していることがわかる。しかし、外部印加磁場を変化させても電流-電圧特性には大きな変化がみられず、磁気ナノドット

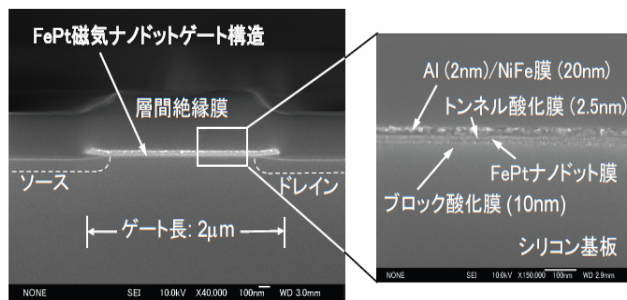


図26 非自己整合ゲート法により作製した磁気ナノドットメモリトランジスタのSEM断面観察写真

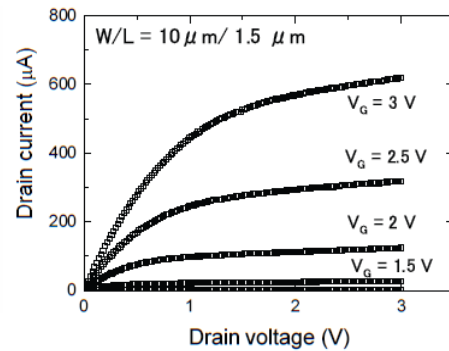


図27 試作した磁気ナノドットメモリトランジスタのドレイン電流-電圧特性

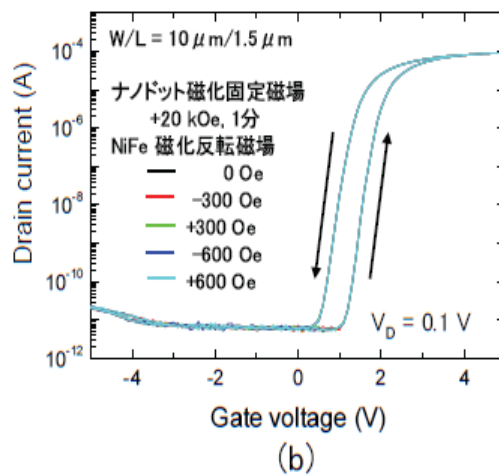
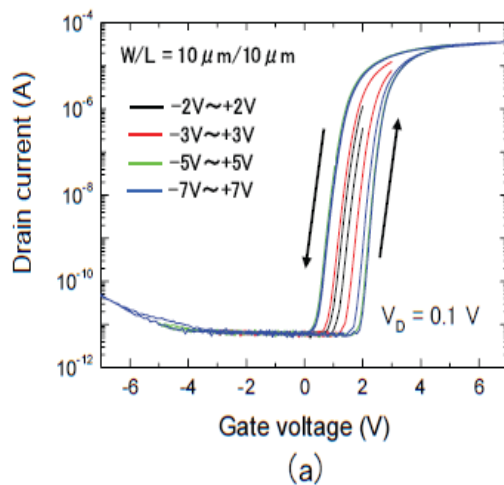


図28 試作した磁気ナノドットメモリトランジスタのサブスレッシュホールド特性

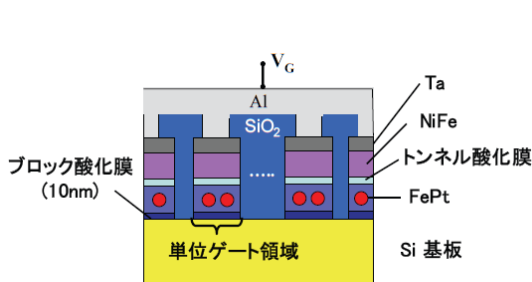


図29 磁気ナノドットMOSキャパシタの構造

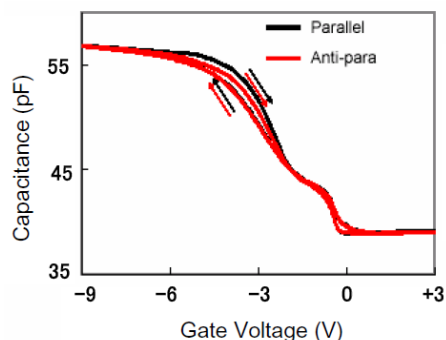
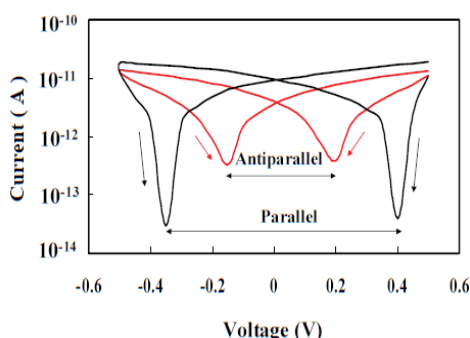
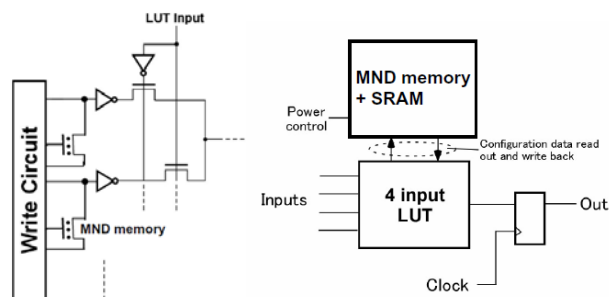


図30 FePt磁気ナノドットMOSキャパシタのC-V特性

図31 Al_2O_3 トンネル絶縁膜を有するFePt磁気ナノドットMOSキャパシタのI-V特性

(a) 磁気ナノドットメモリを用いたLUTアップ回路 (b) 磁気ナノドットメモリを用いたLUT回路

図32 磁気ナノドットメモリを用いた再構成可能な(Reconfigurable)回路

トを用いたメモリトランジスタで磁気トンネル効果が明確には確認できていない。

磁気ナノドットメモリトランジスタの作製と平行して、図29に示すようなFePt磁気ナノドットを有するMOSキャパシタを用いて磁気トンネル効果の評価を行った。その結果、図30に示すように、C-V特性のヒステリシスが印加磁場の方向を変えることによって変わるという結果が得られた。しかし、印加磁場の効果がそれほど大きく、試料間のばらつきも大きいため充分なる再現性も得られていない。メモリトランジスタやMOSキャパシタで、印加磁場の効果が再現性も含めて明確に現れない理由として、二つのことが考えられる。FePtナノドットの磁化の方向のばらつきとトンネル絶縁膜の材料の問題である。前述のように、ナノドットの磁化の方向のばらつきを低減するためには磁場中アニールが効果的であるが、磁気ナノドットメモリトランジスタの作製の際には磁場中アニールを採用していなかった。また、トンネル絶縁膜として、 Al_2O_3 膜をよりは磁気トンネル効果の現れにくい SiO_2 膜を採用してきた。これは、磁気ナノドットメモリトランジスタの試作のしやすさを考慮したためである。図31に示すように、 Al_2O_3 膜を用いると、ゲート電流-電圧特性のヒステリシスに明確な磁場依存性が観測される。そのため、今後は、トンネル絶縁膜に良質の Al_2O_3 膜を採用するとともに、磁場中アニールを行って、磁気トンネル効果による良

好なメモリ特性を示す磁気ナノドットメモリトランジスタの実現を目指す。

なお、磁気ナノドットメモリを用いたメモリベースの新しい回路として磁気ナノドットメモリを用いた再構成可能な(Reconfigurable)回路についても検討した。基本回路構成を図 32 に示す。この回路は、ルックアップテーブル(LUT)を構成する SRAM のバックアップメモリとして磁気ナノドットメモリを使っている。後述する磁気ナノドットメモリモデリンググループの開発したシミュレータを用いて基本動作の確認も行っている。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究により、磁気ナノドット、金属ナノドットの不揮発性メモリへの適用可能性が示され、新しい不揮発性メモリ実現への道が開かれた。特に、FePt を用いた磁気ナノドットに関しては、高密度で耐熱性の高いナノドットの形成が可能となり、ドットの磁化方向もある程度制御できるようになったので、磁気トンネル効果を使った高速・低電力不揮発性メモリの実現可能性が高まった。磁気トンネル効果を利用することによって不揮発性メモリのリテンション特性(情報電荷保持特性)を改善できるだけでなく、薄いトンネル絶縁膜を用いているので書込み、消去電圧を下げて低電力化できるので、AV 機器や各種の情報機器、情報システムの超小型化、超省電力化が期待できる。このような情報機器、情報システムの超小型化、超省電力化を通して本研究の成果はより高度な情報化社会の到来に貢献するだけでなく、メモリや集積回路の製造技術の革新を通して装置産業や素材産業の活性化にも貢献すると期待される。また、科学技術の分野でも、半導体素子と磁性素子を融合することによって、電子の数とエネルギーに加えてスピンの状態をも利用した新しいスピントロニクス半導体集積回路の研究を活性化することに貢献すると期待される。特に、微細な磁気ナノドットの磁化状態を電子線ホログラフィーを直接観察することに成功したことは、ナノマグネティクスの分野の研究を加速するものとしてその意義は大きい。

なお、本研究では、磁気ナノドットを用いた不揮発性メモリ、金属ナノドットを用いた不揮発性メモリ、磁気浮遊ゲートを用いた磁気フラッシュメモリの三種類の新しい不揮発性メモリの可能性が示されたが、作製技術の容易性を考慮して実用化へ向けてのロードマップを考えると、金属ナノドットを用いた不揮発性メモリ、磁気フラッシュメモリ、磁気ナノドットを用いた不揮発性メモリの順で実用化が進むと考えられる。

3. 2 磁気ナノドットメモリのモデリングおよびシミュレーション

(筑波大学 名取グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

磁気ナノドットメモリの書き込み動作と読み出し動作の両方に対してモデル化を検討した。しかし、読み出し動作に関しては、通常のナノドットメモリと同様に、ナノドットに蓄積された電子によるしきい値電圧の変化としてモデル化できるので、本研究では書き込

み動作を重点的にモデル化した。磁気ナノドットメモリの書き込み動作は、磁気書き込み動作と電気書き込み動作から構成されるので、それぞれ分けてモデル化を行った。磁気書き込み動作に関しては、2次元有限要素法（2D-FEM）を用いて磁界分布の解析を行い、この磁界を用いてNiFe制御ゲートの磁化回転を次のLLG(Landau-Lifshitz-Gilbert)方程式を解くことにより磁気書き込み動作のモデル化を行った。

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \frac{\alpha}{M_s} \mathbf{M} \times \frac{d\mathbf{M}}{dt} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{M}$ は自由磁性体層の磁化、 γ は電子のジャイロマグネティック係数、 $\mathbf{H}_{\text{eff}}$ は実効的な磁界(外部磁界+異方性磁界)、 α はギルバート・ダンピング係数、 M_s は磁化の大きさである。印加磁場と磁化の方向を図 33 のようにとる。そうすると、実効磁界 $\mathbf{H}_{\text{eff}}$ は、外部印加磁界 H_w と異方性磁界 H_k および静磁界を用いて

$$\mathbf{H}_{\text{eff}} = H_w \hat{e}_x + H_b \hat{e}_y - H_k \hat{e}_x \times (\hat{m} \times \hat{e}_x) - 4\pi M_s (\hat{m} \cdot \hat{e}_z) \hat{e}_z \quad (2)$$

のように表される。ここで、 $\hat{e}_x$, $\hat{e}_y$, $\hat{e}_z$ は X, Y, Z 軸の単位ベクトル、 $\hat{m}$ は磁化 $\mathbf{M}$ の単位ベクトルである。印加磁界 H_w および H_b は、ワード線電流 I_w 、ビット線電流 I_b を用いて、 $H_w = K_w I_w$ 、 $H_b = I_b / 2\pi t_{bm}$ で与えられるので、LLG 方程式は次式のように書き表される。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} M_s \cos \theta \cos \phi \\ M_s \cos \theta \sin \phi \\ M_s \sin \theta \end{pmatrix} = & -\gamma \begin{pmatrix} M_s \cos \theta \cos \phi \\ M_s \cos \theta \sin \phi \\ M_s \sin \theta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} H_b \\ H_w - H_k \cos \theta \sin \phi \\ -H_k \sin \theta - 4\pi M_s \sin \theta \end{pmatrix} \\ & + \frac{\alpha}{M_s} \begin{pmatrix} M_s \cos \theta \cos \phi \\ M_s \cos \theta \sin \phi \\ M_s \sin \theta \end{pmatrix} \times \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} M_s \cos \theta \cos \phi \\ M_s \cos \theta \sin \phi \\ M_s \sin \theta \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

この式から、磁化 $\mathbf{M}$ の回転に対して次のような連立方程式が得られる。

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\gamma}{\cos \theta (1 + \alpha^2)} \left\{ H_b (\alpha \cos \phi - \sin \theta \sin \phi) - 4\pi M_s \cos \theta \sin \theta \right. \\ \left. - (\alpha \sin \phi - \sin \theta \cos \phi) (H_w + H_k \cos \theta \cos \phi) \right\} \quad (4)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \alpha \cos \theta \frac{d\phi}{dt} - \gamma (H_b \cos \phi - H_w \sin \phi - H_k \cos \theta \sin \phi \cos \phi) \quad (5)$$

これらの連立方程式を数値解析することによって、動的な磁化回転を求めることができる。本研究では、この数値解析モデルと回路シミュレータ SPICE を連結するプログラムも開発して、ワード線電流 I_w 、ビット線電流 I_b によって自由磁性体層の磁化が反転するのをシミュレーションできるようになった。シミュレーション結果を図 34 に、シミュレーションに用いたパラメータを表 1 に示す。シミュレーションに際しては、ワード線にヨーク層を形成していることを想定している。図 34 のシミュレーション結果からわかるように、ワード

線電流、ビット線電流によって自由磁性体層の磁化が反転する様子が正しくシミュレーションできている。

磁気書き込み後の電気書き込み動作のモデル化については、MRAM(Magnetic Random Access Memory)のモデルと同様、トンネル絶縁膜に印加される電圧が小さいとして、次式で表される Simmons のトンネル電流モデルを採用した。

$$I(V, \phi) = \theta_s(V, \phi) (V + \gamma_s V^3) \quad (6)$$

ここで、 θ_s はスピン依存係数で、自由磁性体層と固定磁性体層のスピン方向が平行の時に大きく、反平行の時に小さくなるように設定されている。 V はトンネル絶縁膜に印加される電圧、 γ_s はバイアス依存パラメータである。なお、磁気ナノドットメモリの磁気書き込み後の電気書き込み動作のモデル化に際しては、スピン依存係数 θ_s を $\theta_s = S_{\text{dot}} \cdot \beta_s$ のように、磁気ナノドットの効果を含むようにモデルを改良している。ここで、 S_{dot} は磁気ナノドットの被覆率を表す。トンネル絶縁膜に印加される電圧 V は、次式により与えられる。

$$V = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot V_{\text{CG}} + \frac{Q_{\text{FG}}}{C_1 + C_2} \quad (7)$$

$$Q_{\text{FG}} = - \int A \cdot I(V, \phi) dt \quad (8)$$

ここで、 C_1 、 C_2 、 Q_{FG} はそれぞれ、シリコン基板-ナノドット間の容量、制御ゲート電極-ナノドット間の容量、磁気ナノドットに蓄えられる電荷である。

今、自由磁性体層と固定磁性体層のスピン方向が平行の時を $\phi=180^\circ$ 、反平行の時を $\phi=0^\circ$ とし、微分コンダクタンス $G(V)=dI(V)/dV$ を用いてMR比を次のように定義する。

$$MR(V) = (G_P - G_{\text{AP}}) / G_{\text{AP}} \quad (9)$$

ここで、 $G_P=G(V, \phi=180^\circ)$ 、 $G_{\text{AP}}=G(V, \phi=0^\circ)$ である。また、MR比を次のような数式モデルで仮定すると、

$$MR(V) = C_1|V|^3 + C_2|V|^2 + C_3|V| + C_4 \quad (10)$$

スピン依存係数 θ_s は

$$\theta_s(V, \phi) = S_{\text{dot}} \cdot S_F \cdot G_{\text{min}} (1 + MR(V) \cos \phi / 2) \quad (11)$$

のように表される。ここで、 S_F は磁気ナノドットメモリの制御電極面積、 G_{min} は微分コンダクタンスの最小値である。MR比は、自由磁性体層と固定磁性体層の間の電流-電圧特性を直接測定するような試料を用いて実験的に求めることができるので、式(6)～(11)を用いて、電気書き込みによって磁気ナノドットに蓄えられる電荷 Q_{FG} が求まる。この Q_{FG} を用いて、電気書き込み後の磁気ナノドットメモリのしきい値 V_{th} が次式により求まる。

$$V_{th} = V_{th0} - \frac{Q_{FG}}{C_1} \quad (12)$$

以上のモデルはコンパクトモデルとして SPICE シミュレータに組み込まれており、磁気書き込み動作と電気書き込み動作から成る磁気ナノドットメモリの書き込み動作を一貫してシミュレーションできる。

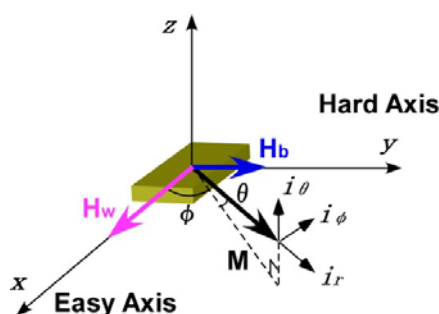


図33 印加磁界と磁化の方向

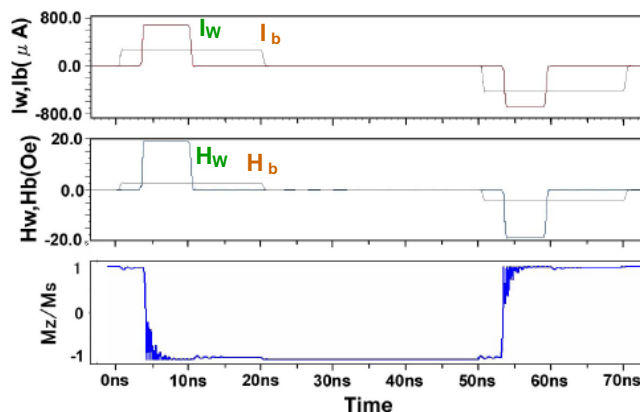


図34 磁気書き込みシミュレーション結果

表1 磁気書き込みシミュレーションに用いたパラメータ

電子のジャイロマグネティック係数: γ	1.84×10^7
磁化の強さ: M_s (kA/m)	800
ギルバート・ダンピング係数: α	0.0068
異方性磁界: H_k (Oe)	10
書き込みワード線磁界係数: K_w	27.64×10^3
ビット線と制御電極間の距離: t_{bm} (nm)	200

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究により、磁氣的動作と電氣的動作を合わせもつ素子とそれを用いた回路のシミュレーションが可能となったので、本研究で提案した磁気ナノドットメモリだけでなく、半導体素子と磁性素子を融合した新しい素子への応用も可能である。その結果として、電子の数とエネルギーに加えてスピンの状態をも利用した新しいスピントロニクス集積回路の研究を活性化することにも貢献すると期待される。

3. 3 磁気ナノドット材料の評価・解析（九州大学 宮尾グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

磁気ナノドットメモリ設計・試作グループと連携を取りながら、磁気ナノドット形成方法や磁気ナノドット形成用材料の検討と結晶学的、磁気材料的性質の解明を行った。ナノ

ドットの形成方法としては、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法と SAND (Self Assembled Nano-Dot Deposition) 法との二通りの方法を検討した。MBE 法では、MBE 装置を用いて超高真空中で極薄磁性薄膜を堆積した後、熱処理することによって極薄磁性薄膜を凝集させナノドットを形成する手法について検討した。この手法を用いて、Co ナノドット、Fe ナノドットの形成に成功した。研究プロジェクトの前半では、磁気ナノドットを自由磁性体として用いることを考えていたために、磁気ナノドット材料として Co を重点的に検討したが、その他の可能性も考えて Fe、FeSi、NiFe についても検討した。FeSi に関してはその基本的な性質が不明の部分もあって、ナノドットではなくバルク結晶としての特性を主に評価した。形成した磁気ナノドットの結晶学的、磁気材料的性質を X 線回折 (XRD) 法、振動式磁力計 (VSM) 測定、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察、透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察などにより評価した。図 35 に、MBE 法により形成した Co ナノドットの表面観察写真と、ドット径、ドット密度の測定結果を示す。図からわかるように、堆積直後の Co ナノドット (ドット径: $\sim 20\text{nm}$ 、ドット密度: $\sim 10^{11}\text{cm}^{-2}$) の表面形状は堆積温度が変化してもあまり変わらないが、ポストアニールを行うと、ドット径が拡大し、その密度が減少した。ドット径の拡大は堆積温度が低いほど顕著であった。このことは、堆積温度が高くなるとシリコン酸化膜表面で Co 原子のマイグレーションが促進され、ナノドット内部の残留応力が減少することを示している。このことから、安定で良好に特性をもつナノドットを形成するためにはナノドット内部の残留応力を小さくすることが重要であることがわかった。

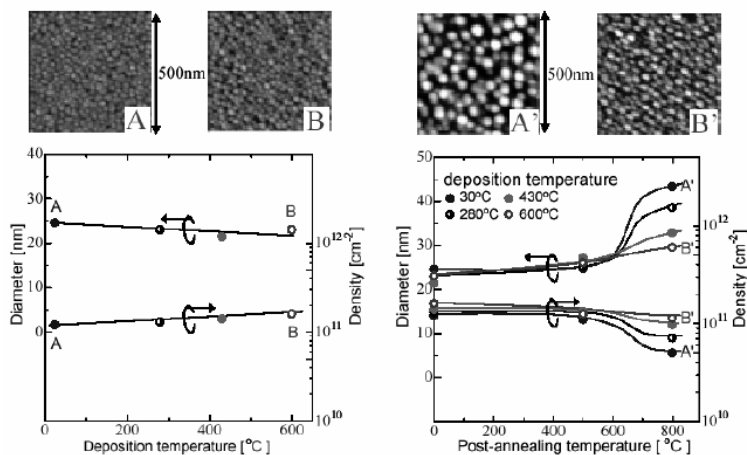


図35 Coナノドットのドット径とドット密度の堆積温度およびポストアニール温度依存性 (写真はAFM測定結果)

しかし、Co ナノドットを用いてある程度良好な磁化特性が得られるようになったものの、再現性が悪いことから、良好な硬質磁性体特性が期待できる FePt ナノドットの検討も開始した。形成方法も SAND 法に主体を移し、磁気ナノドットメモリ設計・試作グループと共同で、FePt 磁気ナノドットの結晶学的、磁気材料的性質を XPS (X 線光電子分光法)、X 線回折 (XRD) 法、振動式磁力計 (VSM) 測定、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察、透過型電子顕微鏡 (TEM) 観

察などにより評価した。X 線回折(XRD)法、振動式磁力計(VSM)測定、原子間力顕微鏡(AFM)観察、透過型電子顕微鏡(TEM)観察などによる評価結果については、「3. 1 磁気ナノドットメモリの設計、試作および評価」のところで詳細に説明したので、ここではXPS(X 線光電子分光法)を用いて、FePt ナノドット膜やトンネル酸化膜の原子の結合状態やバンド構造の解析を行った結果について示す。

「3. 1 磁気ナノドットメモリの設計、試作および評価」のところで述べたように、In-situ アニールや磁場中アニールすることによって、高い保持力を持ち、耐熱性にも優れた高密度の FePt 磁気ナノドットの作製に成功したが、明確な磁気トンネル効果の観測には難航した。これは、本研究で提案した磁気ナノドットメモリでは、固定磁性体層最上面の磁気ナノドットへの電子のトンネルがメモリ特性に大きな影響をもっているためと考え、最上面の磁気ナノドットの振る舞いについて更に詳細に調べた。特に、金属ナノドットの酸化状態について詳細に調べた。固定磁性体層最上面の磁気ナノドットほど酸化される可能性が高いが、メモリ特性に大きな影響をもつ最上面の磁気ナノドットが酸化されると、電子のスピンの依存したトンネルが起こりにくくなる。そこで、XPS(X 線光電子分光法)を用いて、FePt ナノドット膜やトンネル酸化膜の原子の結合状態やバンド構造の解析を行った。磁気ナノドットが酸化されると、FePt ナノドット膜やトンネル酸化膜の原子の結合状態が変化すると考えられる。図 36～図 38 に、FePt ナノドット膜の XPS スペクトルを示す。図 36、図 37 から、ナノドット膜堆積直後 (as-depo) はナノドット膜中の Fe、Pt とともに一部酸化されており、高温における超高真空中の In-situ アニールによって、酸化された Fe、Pt が還元されて純粋な FePt ナノドットに変わることが明らかになった。また、図 38 に示すように、Fe、Pt の還元に伴って、FePt ナノドット膜母材の SiO₂ 膜も、酸素と未結合の

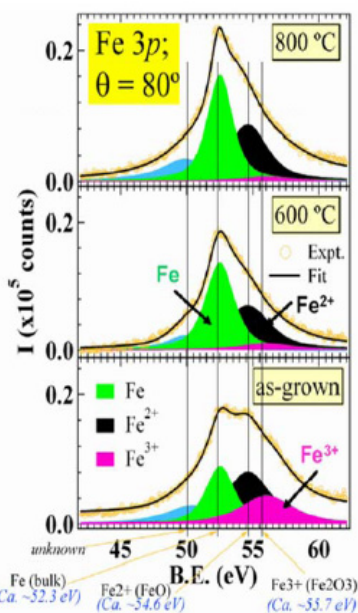


図36 FePtナノドット膜の XPSスペクトル(Fe 3p軌道)

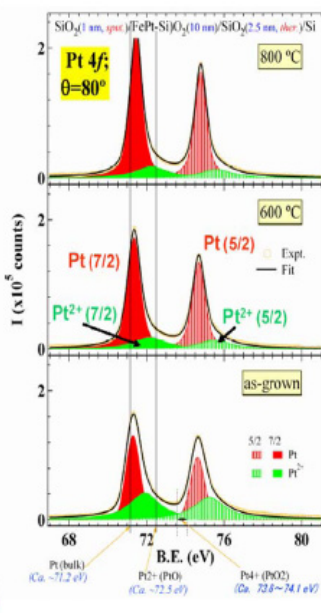


図37 FePtナノドット膜の XPSスペクトル(Pt 4f軌道)

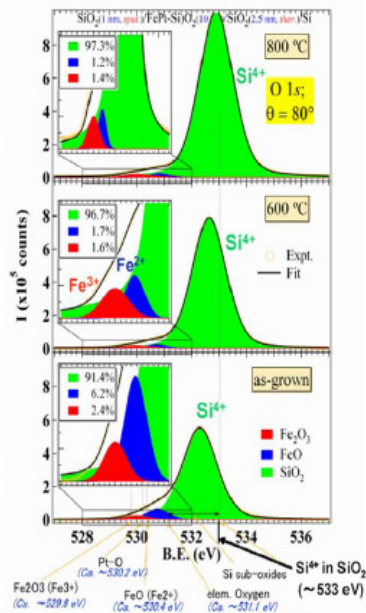


図38 FePtナノドット膜の XPSスペクトル(O 1s軌道)

シリコン原子が減って良質の SiO_2 膜に変わることも確認できた。図 36 は、スパッタ SiO_2 膜(1nm)/FePt ナノドット膜(10nm)/熱酸化 SiO_2 膜(2.5nm)/Si 基板から成る構造を用いて Fe 3p 軌道のスペクトルを測定した結果である。図からわかるように、熱処理温度を高くするとともに、鉄の酸化物である Fe^0 および Fe_2O_3 の結合に関連した Fe^{2+} 、 Fe^{3+} の波形のピーク値が減少し、

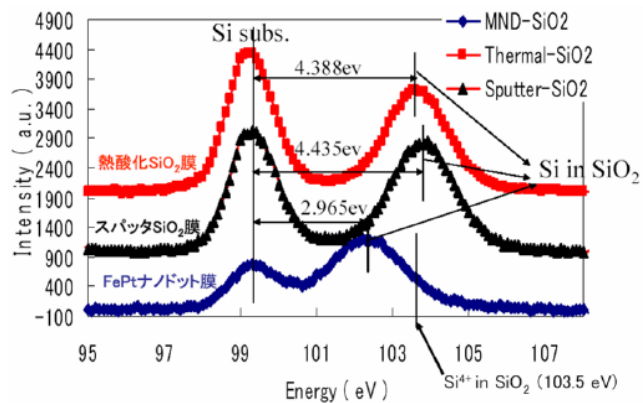


図38 各種 SiO_2 膜のXPSスペクトル($\text{Si}2p$ 軌道)

酸化されていない鉄のピーク値が増加している。同様に、図 37 は、Pt 4f 軌道のスペクトルを測定した結果であるが、白金の酸化物である PtO の結合に関連した Pt^{2+} の波形のピーク値が減少し、酸化されていない白金のピーク値が増加している。図 38 は、 $0\ 1s$ 軌道のスペクトルを測定した結果である。このスペクトルには、 SiO_2 結合をしている Si^{4+} のピークと鉄の酸化物に関連した Fe^{2+} 、 Fe^{3+} のピークが観測されている。 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} のピークに関しては、図 36 の場合と同様、熱処理温度を高くするとともにピーク値が減少している。一方、 Si^{4+} のピーク値は逆に増加している。このように、FePt ナノドット膜は、高温における超高真空中の In-situ アニールによって膜質が改善されることがわかった。なお、ナノドット膜母材の SiO_2 膜に関しては、図 39 に示すように、XPS 測定の際の金属ナノドットのスクリーニング効果により、 SiO_2 結合をしている Si^{4+} のピーク位置が、熱酸化 SiO_2 膜のピーク位置よりも約 1eV、低エネルギー側にずれることが新たにわかった。これはナノドット膜母材の SiO_2 膜の膜質が劣化しているというこ

とではないが、金属ナノドット膜の XPS 測定の際には留意しておく必要がある。

図 40 に、XPS のエネルギー損失スペクトルを示す。このスペクトルから、FePt ナノドット膜の母材の SiO_2 膜のバンドギャップ・エネルギーを算出することができる。図には、ナノドット膜表面近傍で得られたエネルギー損失スペクトルと、ナノドット膜内部で得られたエネルギー損失スペクトルの両方が示されている。図からわかるように、as-depo (as-grown) 膜では、どちらの場合も、バンドギャップの値が 7eV 以下と、熱酸化 SiO_2 膜のそれ

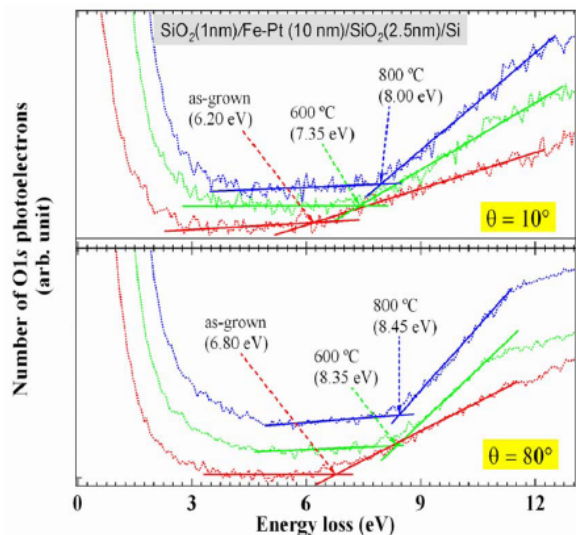


図40 FePtナノドット膜のXPSエネルギー損失スペクトル

($\sim 9\text{eV}$)よりも小さくなっている。しかし、高温で熱処理することによって、熱酸化 SiO_2 膜のそれに近い値にまで増加することから、エネルギーバンド構造の点からも、超高真空中での In-situ アニールによって、FePt ナノドット膜の膜質が改善されることを確認できた。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究により、高密度 ($1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上) でドット径の小さな (10 nm 以下) 磁気ナノドット形成のための重要な知見が得られた。また、高い保持力をもち、耐熱性にも優れた高密度の磁気ナノドットを形成するための熱処理手法を確立するとともに、熱処理に伴う磁気ナノドットの結晶学的、磁気材料的振る舞いを明らかにできた。このことは、この分野の研究を活性化するとともに、新しい学際的な研究の創製の可能性にもつながり、その意義は大きいと考えらる。また、本研究では、半導体と磁性材料の融合という観点から、FePt 以外にもいろいろな磁性材料を用いた磁気ナノドットの形成方法や結晶学的、磁気材料的性質について解明してきたが、これらの結果は、半導体素子と磁性素子を融合した新しいスピントロニクス集積回路の研究を促進させることにも貢献すると期待される。

4 研究参加者

① 磁気ナノドットメモリ設計・試作グループ (磁気ナノドットメモリの試作、評価に関する研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
小柳 光正	東北大学大学院 工学研究科	教授	研究の統括	平成 14 年 11 月～
寒川 誠二	東北大学 流体科学研究所	教授	極微細加工	平成 14 年 11 月～
河野 省三	東北大学 多元物質科学研究所	教授	薄膜形成、評価	平成 14 年 11 月～
進藤 大輔	東北大学 多元物質科学研究所	教授	磁気ナノドット評価	平成 18 年 4 月～
栗野 浩之	東北大学大学院 工学研究科	助教授	メモリ・デバイス設計	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 1 月
田中 徹	東北大学大学院 工学研究科	准教授	メモリ・デバイス設計	平成 17 年 10 月～
小野 崇人	東北大学大学院 工学研究科	准教授	磁気ナノドット評価	平成 14 年 11 月～
安藤 康夫	東北大学大学院 工学研究科	教授	磁気ナノドット形成	平成 14 年 11 月～
福島 誉史	東北大学大学院 工学研究科	助教	メモリ・デバイス開発	平成 17 年 4 月～
李 洪革	東北大学大学院 工学研究科	助教	メモリ回路設計	平成 18 年 4 月～

大兼 幹彦	東北大学大学院 工学研究科	助教	磁気ナノット形成	平成 18 年 4 月～
沈 正七	東北大学大学院 工学研究科	助手	メモリプロセス開発	平成 14 年 11 月～ 平成 16 年 6 月
熊谷 慎也	東北大学 流体科学研究所	助手	極微細加工	平成 14 年 11 月～ 平成 16 年 6 月
洪 連基	東北大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	メモリプロセス開発	平成 15 年 7 月～ 平成 16 年 12 月
裴 志哲	東北大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	ナノットメモリ試作	平成 16 年 5 月～
崔 勲	東北大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	メモリプロセス開発	平成 17 年 6 月～ 平成 18 年 3 月
マリアバン・ムルゲサン	東北大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	メモリプロセス開発	平成 18 年 4 月～
崔 勲	東北大学ベンチャー・ ビジネス・ラボラトリ	非常勤講師	メモリプロセス開発	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 5 月
小林 基樹	東北大学ベンチャー・ ビジネス・ラボラトリ	非常勤講師	メモリプロセス開発	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月
劉 哲	東北大学ベンチャー・ ビジネス・ラボラトリ	非常勤講師	メモリ回路設計	平成 17 年 4 月～ 平成 17 年 10 月
梁 軍	東北大学 マイクロ・ナノマシンング 研究 教育センター	非常勤講師	メモリプロセス開発	平成 18 年 4 月～
アティフ・モハメド・ アリ	東北大学大学院 工学研究科	連携研究員	薄膜形成、評価	平成 18 年 4 月～ 平成 19 年 8 月
呉 赫宰	東北大学大学院 工学研究科	D3	メモリプロセス開発	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
橋本 宏之	東北大学大学院 工学研究科	D3	メモリアーキテクチャ設計	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 1 月
朴 文基	東北大学大学院 工学研究科	D3	ナノットメモリ試作	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
坂口 武史	東北大学大学院 工学研究科	D3	ナノットメモリ試作	平成 16 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
尹 成寛	東北大学大学院 工学研究科	D3	ナノットメモリ試作	平成 17 年 4 月～
山田 裕介	東北大学大学院 工学研究科	非常勤講師	低誘電率基板作成	平成 17 年 4 月～
菊池 宏和	東北大学大学院 工学研究科	D3	低誘電率基板素子試 作	平成 17 年 4 月～
杉村 武昭	東北大学大学院 工学研究科	D3	メモリモデル・回路 設計	平成 18 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
鄭 宇喆	東北大学大学院 工学研究科	D3	ナノットメモリ試作	平成 18 年 4 月～
森田 寛	旭硝子（株） 電子部材事業本部	技術開発リーダー	磁気ナノット形成	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 3 月

高田 雅章	旭硝子（株） 電子部材事業本部	研究員	磁気ナノドット形成	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
相沢 美喜子	東北大学大学院 工学研究科	チーム事務員	事務	平成 15 年 5 月～ 平成 17 年 2 月
八巻 幸枝	東北大学大学院 工学研究科	チーム事務員	事務	平成 17 年 1 月～

②モデリンググループ(磁気ナノドット・メモリのモデリングに関する研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
名取 研二	筑波大学大学院 数理物質科学研究科 電子・物理工学専攻	教授	モデリング	平成 14 年 11 月～

③ナノドット評価グループ(磁気ナノドット材料の評価・解析に関する研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
宮尾 正信	九州大学大学院 システム情報科学研究院	教授	磁気ナノドット評価	平成 14 年 11 月～
佐道 泰造	九州大学大学院 システム情報科学研究院	准教授	磁気ナノドット形成	平成 14 年 11 月～
権丈 淳	九州大学大学院 システム情報科学研究院	助手	磁気ナノドット形成	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 3 月

5 招聘した研究者等

なし

6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内誌 1 件、国際誌 81 件)

- 1) H. Kondoh, M. Iwasaki, T. Shimada, K. Amemiya, T. Yokoyama, T.Ohta, M.Shimomura, and S.Kono
Adsorption of thiolates to singly coordinated sites on Au (111) evidenced by photoelectron Diffraction
PHYSICAL REVIEW LETTERS VOLUME 90, NUMBER 6 14 FEBRUARY 2003
pp.066102-1～066102-4
- 2) Mitsuru OKIGAWA, Yasushi ISHIKAWA and Seiji SAMUKAWA
Plasma-Radiation-Induced Interface States in Metal-Nitride-Oxide-Silicon Structure of Charge-Coupled Device Image Sensor and Their Reduction Using Pulse-Time-Modulated Plasma
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42 (2003) pp.2444-2448 Part 1, No. 4B, April 2003

- 3) Seiji SAMUKAWA, Youichi MINEMURA and Seriichi FUKUDA
Ultrathin Oxynitride Films Formed by Using Pulse-Time-Modulated Nitrogen Beams
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42 (2003) pp.L795-L797 Part 2, No. 7B, 15 July 2003
- 4) Takahito Ono, Dong F. Wang, Masayoshi Esashi
Time dependence of energy dissipation in resonating silicon cantilevers in ultrahigh vacuum
APPLIED PHYSICS LETTERS Volume 83, NUMBER 10, 8 SEPTEMBER 2003
pp.1950-1952
- 5) H. Ohtake, H. Ishikawa, T. Fuse, and A. Koshiishi, S. Samukawa
Highly selective and high rate SiO₂ etching using argon-added C₂F₄/CF₃I Plasma
Journal of Vacuum Science and Technology B21, (5), Sep/Oct 2003 pp.2142-2146
15 September 2003
- 6) Seiji SAMUKAWA, Shinya KUMAGAI and Toshiaki SHIROIWA
Highly Anisotropic and Corrosionless PtMn Etching using Pulse-Time-Modulated Chlorine Plasma
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42 (2003) pp.L1272-L1274 Part 2, No. 10B,
15 October 2003
- 7) Xinxin Li, Takahito Ono, Yuelin Wang, Masayoshi Esashi
Ultrathin single-crystalline-silicon cantilever resonators: Fabrication technology and significant specimen size effect on Young's modulus
APPLIED PHYSICS LETTERS Volume 83, NUMBER 15, 13 OCTOBER 2003 pp.3081-3083
- 8) Dong F. Wang, Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Crystallographic influence on nanomechanics of (100)-oriented silicon resonators
APPLIED PHYSICS LETTERS Volume 83, NUMBER 15, 13 OCTOBER 2003 pp.3189-3191
- 9) Mitsuru Okigawa, Yasushi Ishikawa and Seiji Samukawa
Reduction of ultraviolet-radiation damage in SiO₂ using pulse-time-modulated plasma and its application to charge coupled 44 device image sensor processes*
Journal of Vacuum Science and Technology, B21 (6), Nov/Dec 2003 pp2448-2454,
24 November 2003
- 10) Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Magnetic force and optical force sensing with ultrathin silicon resonator
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS Volume 74, NUMBER 12 DECEMBER 2003
pp.5141-5146
- 11) NJ Mason, P. Limao Vieira, S. Eden, P. Kendall, S. Pathak, A. Dawes, J. Tennyson P. Tegeder, M. Kitajima, M. Okamoto, K. Sunohara, H. Tanaka, H. Cho, S. Samukawa, SV. Hoffmann, D. Newnham, SM. Spyrou
VUV and low energy electron impact study of electronic state spectroscopy of CF₃I
International Journal of Mass Spectrometry, 223 -224 (2003) pp.647-660
- 12) S. Kono, T. Takano, M. Shimomura, T. Goto, K. Sato, T. Abukawa, M. Tachiki, and H. Kawarada
Electron-spectroscopy and -diffraction study of the conductivity of CVD diamond (001)2 × 1 surface
Surface Science 529 (2003) pp.180-188
- 13) Shozo Kono, Touru Takano, Masaru Shimomura, Tadahiko Goto, Kei Sato, Tadashi Abukawa, Minoru Tachiki, and Hiroshi Kawarada

Electron Spectroscopy and Diffraction Study of the Origin of CVD Diamond Surface Conductivity
New Diamond and Frontier Carbon Technology Vol.13, No.5, (2003) pp.247-255

- 14) T. Abukawa, S. Kono
Semi-direct method for surface structure analysis using correlated thermal diffuse scattering
Progress in Surface Science 72 (2003) pp.19-51
- 15) M. SHIMOMURA, M. MUNAKATA, K. HONMA, S.M. WIDSTRAND, L. JOHANSSON, T. ABUKAWA and S. KONO
STRUCTURAL STUDY OF BENZENE ADSORPTION ON Si(001) SURFACE BY PHOTOELECTRON DIFFRACTION
Surface Review and Letters Vol.10, Nos.2&3 (2003) pp.499-503
- 16) JeoungChill Shim, Hyuckjae Oh, Hoon Choi, Takeshi Sakaguchi, Hiroyuki Kurino, Mitsumasa Koyanagi
SiGe elevated source/drain structure and nickel silicide contact layer for sub 0.1 μm MOSFET fabrication
Applied Surface Science vol.224 (2004) pp.260-264
- 17) Seiji Samukawa and Yoichi Minemura, Seiichi Fukuda
Control of nitrogen depth profile in ultrathin oxynitride films formed by pulse-time-modulated nitrogen beams
Journal of Vacuum Science and Technology, A22 (2), Mar/Apr 2004 pp.245-249
14 January 2004
- 18) Tadashi Shimmura, Shinnosuke Soda, and Seiji Samukawa, Mitsumasa Koyanagi, Kazuhiro Hane
Mitigation of accumulated electric charge by deposited fluorocarbon film during SiO₂ etching
Journal of Vacuum Science and Technology, A22 (2), Mar/Apr 2004 pp.433-436 20 February 2004
- 19) T. Shimmura, S. Soda, and S. Samukawa, M. Koyanagi, K. Hane
Effects of fluorocarbon gas species on electrical conductivity and chemical structure of deposited polymer in SiO₂ etchings processes
Journal of Vacuum Science and Technology, B22 (2), Mar/Apr 2004 pp.533-538
20 February 2004
- 20) Tomohiro Kubota, Tomohiro Baba, and Seiji Samukawa, Hiroyuki Kawashima, Yukiharu Uraoka and Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita
A 7nm-nanocolum structure fabricated by using a ferritin iron-core mask and low energy Cl neutral beams
Applied Physics Letters, VOLUME 84, NUMBER 9 1 MARCH 2004, pp1555-1557
- 21) Taizoh SADOH, Masakazu OWATARI, Yuji MURAKAMI, Atsushi KENJO, Tsuyoshi YOSHITAKE, Masaru ITAKURA and Masanobu MIYAO
Formation of b-FeSi₂-xGe_x by Ge-Segregation-Controlled Solid-Phase Growth of [a-Si/a-FeSiGe] n Multilayered Structure
Japanese Journal of Applied Physics Vol.43, No.4B, 2004, pp.1879-1881 April 27, 2004
- 22) Hyuckjae OH, Hoon CHOI, Takeshi SAKAGUCHI, Jeoung-Chill SHIM, Hiroyuki KURINO and Mitsumasa KOYANAGI
Novel Silicon On Insulator Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors with Buried Back Gate

Japanese Journal of Applied Physics Vol.43, No.4B, 2004, pp.2140-2144 April 27, 2004

- 23) Takeshi SAKAGUCHI, Youn-Gi HONG, Motoki KOBAYASHI, Masaaki TAKATA, Hoon CHOI, Jeoung-Chill SHIM, Hiroyuki KURINO and Mitsumasa KOYANAGI
Proposal of New Nonvolatile Memory with Magnetic Nano-Dots
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43 No.4B, 2004, pp.2203-2206 April 27, 2004
- 24) T. Sadoh, M. Owatari, Y. Murakami, A. Kenjo, T. Yoshitake, M. Itakura, T. Enokida, and M. Miyao
Formation of SiGe/ β -FeSi₂ superstructures from amorphous Si/FeSiGe layers
Thin Solid Films 461 (2004) pp.77-80, 18 May 2004
- 25) Y. Murakami, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Yoshitake, and M. Miyao
Solid-phase crystallization of β -FeSi₂ thin film in Fe/Si structure
Thin Solid Films 461 (2004) pp.68-71, 20 May 2004
- 26) Y. Murakami, Y. Tsukahara, A. Kenjo, T. Sadoh, Y. Maeda and M. Miyao
Impurity conduction in ion beam synthesized β -FeSi₂/Si
Thin Solid Films 461 (2004) pp.198-201, 20 May 2004
- 27) Shinnya Kumagai, Toshiaki Shiroiwa and Seiji Samukawa
Reactive etching platinum-manganese using a pulse-time-modulate chlorine plasma and a H₂ plasma post-etch corrosion treatment
Journal of Vacuum Science and Technology, A22 (4) Jul/Aug 2004, pp.1093-1100 24 May 2004
- 28) R. Gunnella, M. Shimomura, M. Munakata, T. Takano, T. Yamazaki, T. Abukawa and S. Kono
Structural study of 1,4-cyclohexadiene adsorption on Si(001) surface by low energy photoelectron Diffraction
Surface Science 566-568 (2004), pp.618-623, 11 June 2004
- 29) Shuichi Noda, Hiromoto Nishimori, Tohru Iida, Tsunetoshi Arikado, Katsunori Ichiki, Takuya Ozaki and Seiji Samukawa
50nm Gate Electrode Patterning Using A Neutral-Beam Etching System
Journal of Vacuum Science and Technology, A22 (4) Jul/Aug 2004, pp.1506-1512, 20 July 2004
- 30) M. Shimomura¹, Y. Iejima, K. Yajima, T. Yagi, T. Goto, R. Gunnella, T. Abukawa, Y. Fukuda and S. Kono
Adsorption of thiophene on a Si(001)-2 $\times$ 1 surface studied by photoelectron spectroscopy and diffraction
Applied Surface Science 237 (2004), pp.75-79, 28 July 2004
- 31) Takahito Ono and Masayoshi Esashi
Mass sensing with resonating ultra-thin silicon beams detected by a double-beam laser doppler vibrometer
MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY 15(2004) pp.1977-1981, 20 August 2004
- 32) S. Kono, T. Takano, T. Goto, Y. Ikejima, M. Shiraishi, T. Abukawa, T. Yamada, and A. Sawabe
Effect of bias-treatment in the CVD diamond growth on Ir(001)
Diamond & Related Materials 13 (2004), pp.2081-2087, 2 September 2004
- 33) Mitsuru Okigawa, Yasushi Ishikawa, Yoshinori Ichihashi and Seiji Samukawa
Ultraviolet-induced damage in fluorocarbon plasma and its reduction by pulse-time-modulated plasma in charge coupled device image sensor wafer processes
Journal of Vacuum Science and Technology, B22 (6) Nov/Dec 2004, pp.2818-2822, 24 November 2004

- 34) S.Kono, M.Shiraishi, T.Goto, T.Abukawa, M.Tachiki, H. Kwarada
An electron-spectroscopic view of CVD diamond surface conductivity
Diamond & Related Materials 14 (2005) pp.459-465, 15 December 2004
- 35) Mitsuru Okigawa, Yasushi Ishikawa and Seiji Samukawa
On-wafer Monitoring of Plasma-induced Electrical Current in Silicon Dioxide to Predict
Plasma Radiation Damage
Journal of Vacuum Science and Technology, B23 (1) Jan/Feb 2005 pp.173-177, 6 January 2005
- 36) Hiroto Ohtake, Nobuhiko Inoue, Takuya Ozaki and Seiji Samukawa Eiichi Soda and Kazuyuki
Inukai
Highly Selective Low-damage Processes using Advanced Neutral Beams for Low-*k* Films
Journal of Vacuum Science and Technology, B23 (1) Jan/Feb 2005 pp.210-216, 11 January
2005
- 37) Yasushi Ishikawa, Mitsuru Okigawa, and Seiji Samukawa
Reduction of plasma-induced damage in SiO₂ films during pulse-time-modulated plasma
Irradiation
Journal of Vacuum Science and Technology B23 (2), Mar/Apr 2005 pp.389-394, 9 March 2005
- 38) Tomohiro Kubota, Tomohiro Baba, Hiroyuki Kawashima, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki,
Ichiro Yamashita and Seiji Samukawa
Study of neutral-beam etching conditions for the fabrication of 7-nm-diameter nanocolumn
structures using ferritin iron-core masks
Journal of Vacuum Science and Technology, B23 (2), Mar/Apr 2005 pp. 534-539, 18 March
2005
- 39) Yoomin Ahn, Takahito Ono and Masayoshi Esashi
Si multiprobes integrated with lateral actuators for independent scanning probe applications
JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING 15(2005) pp.1224-1229
29 April 2005
- 40) Kenji Ishikawa, Mitsuru Okigawa, Yashusi Ishikawa, and Seiji Samukawa
In Vacuo Measurements of Dangling Bonds Created During Ar-Diluted Fluorocarbon Plasma
Etching of Si Dioxide Films
Applied Physics Letters, 86, 264104 (2005) pp.264104-1-264104-3, 23 June 2005
- 41) M. Shimomura, D. Ichikawa, and Y. Fukuda, T.Abukawa, T.Aoyama, and S.Kono
Formation of one-dimensional molecular chains on a solid surface: Pyrazine/Si (001)
PHYSICAL REVIEW B72, 033303 (2005) pp.033303-1-033303-4, 6 July 2005
- 42) Shuichi Noda, Yasuyuki Hoshino, Takuya Ozaki and Seiji Samukawa
Highly Anisotropic Gate Electrode Patterning in Neutral Beam Etching Using F₂ Gas
Chemistry
Journal of Vacuum Science and Technology B23 (5), Sep/Oct 2005 pp. 2063-2068, 16
September 2005
- 43) Takahito Ono, Chia-cheng Fan and Masayoshi Esashi
Micro instrumentation for characterizing thermoelectric properties of nanomaterials
JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING 15(2005) pp.1-5
23 September 2004
- 44) Yasushi Ishikawa, Yuji Katoh, Mitsuru Okigawa, and Seiji Samukawa
Prediction of ultraviolet-induced damage during plasma processes in dielectric films using
on-wafer monitoring techniques

Journal of Vacuum Science and Technology, A23 (6), Nov/Dec 2005 pp.1509-1512, 17
October 2005

- 45) Yutaka NOMURA, Fumihiko OTA, Hiroyuki KURINO and Mitsumasa KOYANAGI
Fundamental Properties of Organic Low-k Dielectrics Usable in the Cu Damascene Process
Japanese Journal of Applied Physics Vol.44, No.11, 2005, pp.7876-7882, November 9, 2005
- 46) Shozo KONO and Yasuo KOIDE
Simulation of Band Diagram for CVD Diamond Surface Conductivity
Japanese Journal of Applied Physics Vol.44, No.12, 2005, pp.8378-8382, December 8, 2005
- 47) S. Kono, M. Shiraishi, N.I. Plusnin, T. Goto, Y. Ikejima, T. Abukawa, M. Shimomura, Z. Dai, C. Bednarski-Meinke and B.Golding
X-ray Photoelectron Diffraction Study of the Initial Stages of CVD Diamond Heteroepitaxy on Ir (001)/SrTiO₃
New Diamond and Frontier Carbon Technology Vol.15, No.6 (2005) pp.363-371
- 48) Toshihiro Suzuki, Kazuyuki Sakamoto, Tadashi Abukawa and Shozo Kono
Structural investigation of the Ca/Si(111)-(3x2) surface using photoelectron diffraction
e-Journal of Surface Science and Nanotechnology Vol. 4 (2006) pp.166-169 10 February 2006
- 49) Seiji Samukawa
Ultimate Top-down Etching Processes for Future Nanoscale Devices
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No.4A, 2006, pp.2395-2407, April 7, 2006
- 50) Y G Jiang, T Ono, M Esashi
High aspect ratio spiral microcoils fabricated by a silicon lost molding technique
JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING, 16 (2006) pp.1057~1061
12 April 2006
- 51) Hycukjae OH, Takeshi SAKAGUCHI, Takafumi FUKUSHIMA and Mitsumasa KOYANAGI
Effect of Ion Implantation Damage on Elevated Source/Drain Formation for Ultrathin Body Silicon on Insulator Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor
Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No.4B, 2006, pp.2965-2969, April 25, 2006
- 52) Yusuke YAMADA, Hycukjae OH, Takeshi SAKAGUCHI, Takafumi FUKUSHIMA and Mitsumasa KOYANAGI
Characteristics of Silicon-on-Lw *k* Insulator Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor with Metal Back Gate
Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No.4B, 2006, pp.3040-3044, April 25, 2006
- 53) Cheng-Kuan Yin, Ji-Chel Bea, Youn-Gi Hong, Takafumi Fukushima, Masanobu Miyao, Kenji Natori and Mitsumasa Koyanagi
New Magnetic Flash Memory with FePt Magnetic Floating Gate
Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No. 4B, 2006, pp.3217-3221, April 25, 2006
- 54) Taizo Sadoh, Hisashi Takeuchi, Koji Ueda, Atsushi Kenjo, and Masanobu Miyao
Epitaxial Growth of Ferromagnetic Silicide Fe₃Si on Si (111) Substrate
Japanese Journal Applied Physics. Vol.45, No.4B, 2006, pp.3598-3600, April 25, 2006
- 55) Kenji Ishikawa, Yoshikazu Yamada, Moritaka Nakamura, Yuichi Yamazaki, Satoshi Yamazaki, Yasushi, Ishikawa and Seiji Samukawa
Surface Reactions during Etching of Organic Low-k Films by Plasmas of N₂ and H₂
JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 99, (2006), pp083305-1-083305-6, 3 May 2006

- 56) Tomonori Mukai, Hiromitsu Hada, Shuichi Tahara, Hiroaki Yoda, and Seiji Samukawa
High-Performance and Damage-Free Magnetic Film Etching Using Pulse-Time Modulated Cl_2 Plasma
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No.6B, 2006, pp5542-5545, June 20, 2006
- 57) Shuichi Noda, Takuya Ozaki and Seiji Samukawa
Damage-free MOS Gate Electrode Patterning on Thin HfSiON Film Using Neutral Beam Etching
Journal of Vacuum Science and Technology, A24 (4) (2006) pp.1414-1420, 22 June 2006
- 58) 名取研二
ナノメートル CMOS デバイスの課題と展望
電気学会論文誌 C, JUNE 2006 Volume 126-C Number 6 pp.690-695
- 59) C.K.Yin, T.Fukushima, T.Tanaka, M.Koyanagi, J.C. Bea, H.Choi, M.Nishijima, M.Miyao
Magnetic properties of FePt nanodots formed by a self-assembled nanodot deposition method
APPLIED PHYSICS LETTERS Volume 89 7 August 2006 Number 6, pp.063109-1-063109-3
- 60) Kazuhiko Endo, Shuichi Noda, Meishoku Masahara, Tomohiro Kubota, Takuya Ozaki, Seiji Samukawa, Yongxun Liu, Kenichi Ishii, Yuki Ishikawa, Etsuro Sugimata, Takashi Matsukawa, Hidenori Takashima, Hiromi, Yamauchi and Eiichi Suzuki
Fabrication of FinFET by Damage-free Neutral Beam Etching Technology
IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol.53 No.8, August (2006), pp.1826-1833
- 61) Yasushi Ishikawa, Takao Ishida and Seiji Samukawa
Low Damage Atomic Layer Modification of SAM using Neutral Beam Process
APPLIED PHYSICS LETTERS, **89**, 2006, pp123122, 22 September 2006
- 62) Hiroto Ohtake, Butsurin Jinnai, Yuya Suzuki, Shinnosuke Soda Tadashi Shimmura and Seiji Samukawa
Real-time Monitoring of Charge Accumulation during Pulse-Time-Modulated Plasma
Journal of Vacuum Science and Technology, A24 (6), 2006, pp. 2172-2175, 20 October 2006
- 63) Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Yuji Kato, Ryu Shimizu, Misturu Okigawa and Seiji Samukawa
Effects of Thermal Annealing of Restoration of UV Irradiation Damage during Plasma Etching Processes
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, 2006, pp8370-8373, October 24, 2006
- 64) Mungi Park, Jicheol Bea, Takafumi Fukushima and Mitsumasa Koyanagi
Analysis of GOI-MOSFET with high- k gate dielectric and metal gate fabricated by Ge condensation technique
SURFACE AND INTERFACE ANALYSIS Volume 38, 29 Nov 2006 pp.1720-1724
- 65) Tadashi Abukawa, Tomoyuki Yamazaki, Shozo Kono
Fully performed constant-momentum-transfer-averaging in low-energy electron diffraction demonstrated for a single-domain Si (111)4x1-In surface
e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 4(2006) pp.661-668 23 December 2006
- 66) Sergey N. Abolmasov, Takuya Ozaki, and Seiji Samukawa
Characterization of neutral beam source based on pulsed inductively coupled discharge: Time evolution of ion fluxes entering neutralizer
Journal of Vacuum Science and Technology, A25 (1), 2007, pp. 134-140, 3 January 2007

- 67) Seiji Samukawa, Butsurinn Jinnai, Fumihiko Oda, and Yukihiro Morimoto
Surface Reaction Enhancement by UV irradiation during Si Etching Process with Chlorine Atom Beam
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.46, 2007, pp. L64-66, January 12, 2007
- 68) Hiroto Ohtake, Butsurin Jinnai, Yuya Suzuki, Shinnosuke Soda Tadashi Shimmura and Seiji Samukawa
On-wafer monitoring of electron and ion energy distribution at the bottom of contact-hole
Journal of Vacuum Science and Technology, B25 (2) (2006) pp. 400-403, 7 March 2007
- 69) Cheng-Kuan Yin, Mariappan Murugesan, Ji-Chel Bea, Mikihiro Oogane, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Masanobu Miyao, Seiji Samukawa, and Mitsumasa Koyanagi
New Magnetic Nanodot Memory with FePt Nanodots
Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46. No.4B, 2007, pp.2167-2171, April 24, 2007
- 70) Tomonori Mukai, Norikazu Ohshima and Hiromitsu Hada, Seiji Samukawa
Reactive and anisotropic etching of magnetic tunnel junction films using pulse-time-modulated Plasma
Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol.25, No.3, pp432-436, May/Jun 2007
- 71) Tomohiro Kubota, Tomohiro Baba, Suguru Saito, Satoshi Yamasaki, Shinya Kumagai, Takuo Matsui, Yukihiro Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita and Seiji Samukawa
Low-damage fabrication of high aspect nanocolumns by using neutral beams and ferritin-iron-core mask
Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol.25, No.3, pp760-766, May/Jun 2007
- 72) Seiji Samukawa
High-performance and damage-free neutral-beam etching processes using negative ions in pulse-time- modulated plasma.
Applied Surface Science, Volume 253, No.16, pp6681-6689, 15 June 2007
- 73) Tomohiro Kubota, Takeshi Hashimoto, Masaki Takeguchi, Kensuke Nishioka, Yukihiro Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita and Seiji Samukawa
Coulomb-staircase observed in silicon-nanodisk structures fabricated by low-energy chlorine neutral beams
Journal of Applied Physics, Vol.101, 2007, pp124301, 18 June 2007
- 74) S. N. Abolmasov and S. Samukawa
Cold-cathode Penning discharge-based ionizer for detection of hyperthermal neutral beams
Review of Scientific Instruments, Vol.78, 2007, pp073302, 13 July 2007
- 75) Sang-Jin Kim, Takahito Ono, and Masayoshi Esashi
Mass detection using capacitive resonant silicon resonator employing LC resonant circuit technique
Review of Scientific Instruments, Vol.78, 2007, pp.085103-1~085103-6, 8 August 2007
- 76) Michio Sato, Hiroto Ohtake, Koichi Suzuki and Seiji Samukawa
Real-time monitoring of successive sparks in high-density plasma chambers
[Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 25, No. 6, 2007, pp. 1594-1598]
- 77) Butsurin Jinnai, Tohiyuki Orita, Mamoru Konishi, Jun Hashimoto, Yoshinari Ichihashi, Akito Nishitani, Shingo Kadomura, Hiroto Ohtake and Seiji Samukawa
On-wafer monitoring of charge accumulation and sidewall conductivity in high-aspect-ratio contact holes during SiO₂ etching process.

- [Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 25, No. 6, 2007, pp. 1808-1813]
- 78) Sergey N. Abolmasov, Seiji Samukawa and Alexander A. Bizyukov
Theory of instabilities in crossed-field discharges at low pressures
[Physics of plasmas, Vol. 14, No. 9, 2007, pp. 093501]
- 79) F. D'Amico, R. Gunnella, M. Shimomura, T. Abukawa and S. Kono
Dependence on the deposition conditions in the adsorption of C₆H₈ molecules on a Si (100)-2x1 surface
[PHYSICAL REVIEW B76, (2007) pp.165315-1-165315-8, 23October 2007]
- 80) Sang-Jin Kim, Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Study on the noise of silicon capacitive resonant mass sensors in ambient atmosphere
[JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 102, pp.104304 -1-104304 -6, 19 November 2007]
- 81) Tomonori Mukai, Butsurin Jinnai, Yohiyuki Fukumoto, Norikazu Ohshima, Hiromitsu Hada and Seiji Samukawa
Plasma irradiation damages to magnetic tunneling junction devices
[Journal of Applied Physics, Vol. 102, 2007, pp. 073303]
- 82) Takafumi Fukushima, Hirokazu Kikuchi, Yusuke Yamada, Takayuki Konno, Jun Liang, Keiichi Sasaki, Kiyoshi Inamura, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi
New Three-Dimensional Integration Technology Based on Reconfigured Wafer-on-Wafer Bonding Technique
[IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Tech. Dig., pp.985-988, (2007), December 10-12 (2007), Washington DC]

(2)その他の著作物（総説、書籍など）

- 1) 近藤 寛、岩崎正興、島田 透、雨宮健太、横山利彦、太田俊明、下村 勝、河野省三
光電子回折によるAu(111)上メチルチオレートの吸着構造解析
表面科学24巻8号（2003） pp. 448-454
- 2) 下村勝、河野省三
日本表面科学会編新訂版・表面科学の基礎と応用 共著 4章2節5． 2 XPD
エヌ・テイ・エス出版、2004年6月22日出版
- 3) 小柳光正、高田雅章
特集：次世代不揮発性メモリーの開発・高集積化とその市場「金属ナノ粒子を用いた半導体不揮発性メモリーの開発」
MATERIAL STAGE Vol.5, No.3 2005
- 4) 小柳光正
LSI の概念を変えるスーパーチップの実現を目指して
青葉工業会ニュース No.42、p.9 平成 18 年 3 月 青葉工業会
- 5) 小柳光正
研究から企業へ：大学・国開発の光関連ベンチャー企業
「3 次元 LSI 積層技術の事業化から量産まで」 O Plus E 2006 年 4 月号 Vol.28 No.4
pp.387-392

- 6) 小柳光正、巻頭言「メモリー王国復活への期待」、応用物理学会誌 2006 年 9 月
- 7) 河野省三（共著）小間篤、青野正和、石橋幸治、塚田捷、常行真司、長谷川修二、八木克道、吉信淳編
2.3 局所構造解析、2.3.1 光電子回折(PED)、オージェ電子回折(AED) pp.121-123
4.2 光電子分光、4.2.1 光電子分光の概要、4.2.2 光電子励起の原理、
4.2.3 光電子分光の測定装置 pp. 210-214
付録 データ編 A.7 XPSの光電子励起断面積 pp.1005-1005
表面物性工学ハンドブック第2版 丸善出版、2007年1月
- 8) 河野省三
連載：研究者と実験機器「ダイヤモンドヘテロエピ成長の仕組みを探る」
InterLab 2007 年 6 月号 7-9 頁
- 9) 河野省三（共著）小間篤、青野正和、石橋幸治、塚田捷、常行真司、長谷川修二、八木克道、吉信淳編
「表面物性工学ハンドブック第2版」
[丸善出版、2007 年 1 月]

(3) 学会発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

① 招待講演（国内会議 16 件、国際会議 16 件）

- 1) 栗野浩之、小柳光正
FD-SOI MOSFET のためのソース/ドレイン構造
[応用物理学会分科会シリコンテクノロジー No.51 大阪 2003 年 6 月 24 日]
- 2) 栗野浩之、小柳光正
選択成長 SiGe による SOI-MOSFET の高性能化技術
[2003 年秋季第 64 回応用物理学会学術講演会 30p-ZD-4, 福岡大学 2003 年 8 月 30 日、31 日、9 月 1 日、2 日]
- 3) 栗野浩之、小柳光正
Ni シリサイドの多段階アニール技術
[応用物理学会分科会シリコンテクノロジー, No.60, 大阪 15th June, 2004]
- 4) 栗野浩之、坂口武史、呉赫宰、沈正七、小柳光正
サブ 0.1 μm SOI-MOSFET のための SiGe Elevated Source/Drain と Ni Silicide
[応用物理学会分科会 シリコンテクノロジー No.62, 26th June, 2004]
- 5) Seiji Samukawa
Ultimate top-down etching processes using advanced neutral beam for future nano-scale devices
[4th International Workshop on Basic Aspects of Nonequilibrium Plasmas Interacting with Surfaces (Negative Ions, their function and designability) and 4th EU-Japan Symposium on Plasma Processes, (Kawaguchi-ko, January 30- February 1 2006)]
- 6) Mitsumasa Koyanagi, J. C. Bea, C.-K. Yin, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka

New Non-Volatile Memory with Magnetic Nano-Dots

[209th Meeting of The Electrochemical Society, Dielectrics for Nanosystems: Materials Science, Processing, Reliability, and Manufacturing II (Denver, Colorado, USA, May 7-12 2006)]

- 7) 小柳光正
特別招待講演：3次元集積化技術とリコンフィギャラブル 3D-SoC
[電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会 東北大学 2006 年 5/18～5/19]
- 8) Seiji Samukawa
Ultimate Plasma Nano-technology for Future Nano-scale Devices
[8th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology and 19th Symposium on Plasma Science for Materials (Cairns, Australia, 2-5th July 2006)]
- 9) 寒川誠二、大竹浩人、門村新吾、市橋由成、西谷明人、橋本潤
高精度プラズマプロセスのためのオンウェハーモニタリング＝インテリジェントナノプロセスを目指して
[2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006 年 8 月 29 日、30 日、31 日、9 月 1 日]
- 10) 寒川誠二
プラズマエッチングの最前線とナノ加工
[日本化学会東北支部・第 26 回 物理化学コロキウム「ナノ化学——ミクロンスケールと分子を結ぶ物理化学」東北大学、2006 10/6]
- 11) Seiji Samukawa
Ultimate top-down etching processes using advanced neutral beam for future nano-scale devices
[2006 59th Annual Gaseous Electronics Conference (Columbus, Ohio, 10th-13th Oct, 2006)]
- 12) K. Natori
Prospective Characteristics of Nanoscale MOSFETs
[the 2006 International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology, (ICSICT 2006) Shanghai, 22-27th Oct 2006 pp.47-50]
- 13) Seiji Samukawa
Top-down Etching Process for Future Nano-scale devices
[the 2006 International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology, (ICSICT 2006) Shanghai, 22-27th Oct 2006]
- 14) Seiji Samukawa
Fusion of Top-down and Bottom-up Processes using Neutral Beam
[The 12th International Micromachine/Nanotech Symposium, Tokyo, 8th November, 2006]
- 15) 寒川誠二
中性粒子ビームによる究極のトップダウン加工とナノデバイスへの応用
[第 33 回アモルファスセミナー—有機・無機ナノデバイスと新しいプラズマプロセス—九州大学 2006 11/8～11/9]
- 16) S. Kono, G. Takyo, N. Amano, N. I. Plusnin, K. Mizuochi, T. Aoyama, T. Goto, T. Abukawa, A. Namba, N. Tatsumi, Y. Nishibayashi, and T. Imai
Mechanism of Field Emission from a Highly Phosphorous-Doped Chemical Vapor Deposition

Diamond (111) Surface

[Symposium on Surface and Nano Science 2007, Appi, Iwate Jan. 23]

- 17) S. Kono, G. Takyo, N. Amano, N. I. Plusnin, K. Mizuochi, T. Aoyama, T. Goto, T. Abukawa, A. Namba, N. Tatsumi, Y. Nishibayashi, and T. Imai
Mechanism of Field Emission from a Highly Phosphorous-Doped Chemical Vapor Deposition Diamond (111) Surface
[Asian Workshop on Surface Nanoscience, Muju, Korea Feb. 1, 2007]
- 18) Cheng-Kuan. Yin, Mariappan Murugesan, Ji-Chel Bea, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi
Fabrication of Magnetic Tunnel Junction with FePt Nanodots for Magnetic Nanodot Memory
[The 6th International Semiconductor Technology Conference (ISTC 2007), Shanghai, China, March 18 - 20, 2007]
- 19) Seiji Samukawa
Advanced Neutral Beam Processes for Nano-scale Devices
[5th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing, Belgrade, Servia, 2007.3]
- 20) Seiji Samukawa
Photon-Induced Defect and Its Control in Plasma Etching Processes
[International Conference on IC Design & Technology ,ustin, USA, 2007.3]
- 21) T Sakai, T Ono, N Sakuma, H Yoshida, M Suzuki, I Yanase, S Ishikawa, D Takeuchi, Y Yamazaki, S. Kono, T Goto
Diamond Cold Cathode Discharge Lamp
[New Diamond and Nano Carbons, Osaka, Japan May 28-31, 2007]
- 22) S. Samukawa
Coulomb-staircase effect in silicon-nanodisk structures fabricated using damage-free CL neutral beam etching
[The 234th American Chemical Society National Meeting , Boston, USA, 8/20/2007]
- 23) 寒川誠二
パルス時間変調プラズマによる損傷フリー微細・磁性膜エッチング技術
[日本応用磁気学会第 154 回研究会 東京 2007 年 5 月 15 日]
- 24) 寒川誠二
究極のトップダウン加工が拓く先端ナノデバイス
[産総研－東北大学包括協定記念講演会 つくば 2007 年 6 月 13 日] 基調講演
- 25) 寒川誠二
大気圧プラズマプロセスにおける紫外線の影響
[日本機械学会環境工学部門第 1 回「大気圧プラズマ流による人間環境保全技術に関する研究分科会」仙台、2007 年 7 月 6 日、7 日]
- 26) 寒川誠二
究極のトップダウン加工が拓く先端ナノデバイス
[日本学術振興会 172 委員会 東京 2007]
- 27) 寒川誠二
究極のトップダウン加工が拓く先端ナノデバイス
[フィジカルセンサ研究会 仙台 2007]

- 28) 福島 誉史, 田中 徹, 小柳 光正
3次元実装技術
[エレクトロニクス実装学会／材料技術委員会公開研究会「次世代インテリジェント実装材料」2007年11月29日, 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター]
- 29) 寒川誠二
パルス時間変調プラズマによる損傷フリー微細・磁性膜エッチング技術
[日本真空協会 12月仙台研究例会 仙台 2007年12月]
- 30) 寒川誠二
究極のトップダウン加工による無損傷ナノ構造加工とナノデバイス
[独立行政法人日本学術振興会将来加工技術第136委員会、第25回研究会（合同研究会）東京 2008]
- 31) Seiji Samukawa
Novel Neutral Beam Etching Process for Future Nano-Scale Devices
[20th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Kyoto, November 5-8, 2007]
- 32) K. Natori
Ballistic Transport in Nanoscale Transistor
[Fifth International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-V), Tokyo, 2007.11.12, Extended Abstracts and Program, pp.5-6]
- ② 口頭発表 (国内会議 77 件、国際会議 69 件)
- 1) JeoungChill Shim, Hyuckjae Oh, Hoon Choi, Takeshi Sakaguchi, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
SiGe Elevated Source/Drain Structure and Nickel Silicide Contact Layer for sub 0.1 μ m MOSFET
[First International SiGe Technology and Device Meeting 2003, Nagoya, January 15-17]
- 2) 坂口武史、高田雅章、洪連基、小林基樹、崔勲、沈正七、栗野浩之、小柳光正
磁性ナノドットによる不揮発性メモリ素子の検討
[2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会 1a-YD-2 No.2 福岡大学 2003年8月30日、31日、9月1日、2日]
- 3) 呉赫宰、崔勲、坂口武史、沈正七、栗野浩之、小柳光正
バックゲートを有する完全空乏型 SOI MOSFET の評価
[2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会 2p-YD-1, No.2 福岡大学 2003年8月30日、31日、9月1日、2日]
- 4) 鬼木基行、清水共、名取研二
ポリシリコン電極キャパシタの量子キャパシタンス
[2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会 福岡大学 2003年8月30日、31日、9月1日、2日]
- 5) 清水共、名取研二、中村淳、名取晃子
第一原理計算による金属/半導体界面近傍の静電特性
[2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会 福岡大学 2003年8月30日、31日、9月]

- 1 日、2 日]
- 6) 村上裕二, 尾渡正和, 佐道泰造, 吉武剛, 板倉賢, 榎田豊次, 宮尾正信
[非晶質 Si/非晶質 FeSiGe]_n 多層構造の固層成長による歪 β -FeSi₂(Ge) の形成
[2003 年秋季第 64 回応用物理学会学術講演会 福岡大学 2003 年 8 月 30 日、31 日、9 月 1 日、2 日]
- 7) Hyuckjae Oh, Hoon Choi, Takeshi Sakaguchi, JeoungChill Shim, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
Novel SOI MOSFETs with Buried Back Gate
[2003 International Conference on Solid State Devices And Materials, Tokyo, 2003, September 16-18]
- 8) Takeshi Sakaguchi, Motoki Kobayashi, Masaaki Takata, Hoon Choi, Youn-Gi Hong, Jeoung-Chill, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
Proposal of new Non-Volatile Memory with Magnetic Nano-Dots
[2003 International Conference on Solid State Devices And Materials, Tokyo, 2003, September 16-18]
- 9) T.Sadoh, M.Owatari, Y.Murakami, A.Kenjo, T.Yoshitake, M.Itakura and M.Miyao
Formation of Strained β -FeSi₂(Ge) by Ge-Segregation Controlled Solid-Phase Growth of [Amorphous Si/FeSiGe]_n Multi-Layered Structure
[2003 International Conference on Solid State Devices And Materials, Tokyo, 2003, September 16-18]
- 10) 松林一也、角田功、佐道泰造、権丈淳、宮尾正信
酸化膜上における Fe ナノドットの高密度形成:
[平成 15 年度電気関係学会九州支部連合大会 2003/9/26-27 熊本]
- 11) 竹内悠、村上裕二、権丈淳、佐道泰造、吉武剛、宮尾正信
固相拡散法による β -FeSi₂ への Ge 導入と歪み変調
[平成 15 年度電気関係学会九州支部連合大会 熊本 2003/9/26-27]
- 12) Y. Murakami, I Tsunoda, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Yoshitake, and M. Miyao
Solid-Phase Crystallization of β -FeSi₂ Thin Film in Fe/Si Structure:
[第 8 回 IUMRS 先進材料国際会議 横浜 2003/10/8-14]
- 13) M.Takata, S, Kondoh, T.Sakaguchi, H.Choi, J-C.Shim, H.Kurino, and M.Koyanagi
New Non-Volatile Memory with Extremely High Density Metal Nano-Dots
[International Electron Devices Meeting (IEDM2003 Technical digest) Session 22-5 Washington DC, 8-10th December]
- 14) 高田雅章、近藤新二、坂口武史、崔勲、栗野浩之、小柳光正
高密度メタルナノドットを有する新型不揮発性メモリの特性
[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 28p-ZH-7 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]
- 15) 尹成寛、洪連基、坂口武史、朴文基、小林基樹、崔勲、沈正七、栗野浩之、小柳光正
不揮発性メモリ用磁気ナノドットを有する MOS キャパシタの基本特性
[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 28p-ZH-8 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]
- 16) 尹成寛、沈正七、呉赫宰、崔勲、洪連基、栗野浩之、小柳光正

Multi Step Anneal 法の Ni Silicide ゲートへの適用

[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 30p-ZG-12 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]

- 17) 木村洋二、名取研二
カーボンナノチューブ FET の電気的特性(2)
[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]
- 18) 松林一也、角田功、佐道泰造、権丈淳、宮尾正信
絶縁膜上における金属ナノドットの高密度形成(1): Fe ドットの形成
[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]
- 19) 竹内悠、角田功、権丈淳、佐道泰造、宮尾正信
Fe₃Si/SiO₂ の形成と磁気特性：熱処理効果
[2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合会講演会 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日、29 日、30 日、31 日]
- 20) 佐道泰造、村上裕二、吉武剛、板倉賢、榎田豊次、宮尾正信
シリサイド半導体の高品質形成と歪み制御
[電子情報通信学会 ED/SDM/OME 研究会 2004/4/16]
- 21) 佐道泰造、村上裕二、権丈淳、吉武剛、板倉賢、榎田豊次、宮尾正信
Ge 添加による β -FeSi₂ の格子歪み制御
[2004 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD), 佐世保 Jun.30-Jul.2, 2004]
- 22) 坂口武史、呉赫宰、杉村武昭、尹 成寛、朴 文基、沈正七、福島 誉史、栗野浩之、小柳光正
バックゲートを有する完全空乏型SOI CMOSFETsの評価
[2004年秋季第65回応用物理学会学術講演会 3p-L-7 No.2 東北学院大学 9月1日、2日、3日、4日]
- 23) 来栖貴史、名取研二
MonteCarlo 法によるナノスケール n-i-n ダイオードの弾道輸送についての解析
[2004 年秋季第 65 回応用物理学会学術講演会 東北学院大学 9 月 1 日、2 日、3 日、4 日]
- 24) 北見昌寛、仁藤記寛、名取研二
極微細MOSFETのサブスレショルド・リーク ーバリスティック電流ー
[2004 年秋季第 65 回応用物理学会学術講演会 東北学院大学 9 月 1 日、2 日、3 日、4 日]
- 25) 仁藤記寛、北見昌寛、名取研二
極微細MOSFETのトンネル・リーク電流
[2004 年秋季第 65 回応用物理学会学術講演会 東北学院大学 9 月 1 日、2 日、3 日、4 日]
- 26) 上田公二、松林一也、角田功、佐道泰造、権丈淳、宮尾正信

絶縁膜上における金属ナノドットの高密度形成(2):ドットの形成プロセスの金属種依存性

[2004 年秋季第 65 回応用物理学会学術講演会 2a-P4-11 東北学院大学 9 月 1 日、2 日 3 日、4 日]

- 27) Hyuckjae Oh, Takeshi Sakaguchi, Jeoungchill Shim, Chengkan Yin, Moongi Park, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
Ultrathin-SOI PMOSFET with Elevated S/D and buried back gate
[ISTC2004 The Electrochemical Society International Semiconductor Technology Conference Shanghai China, September 15-17]
- 28) 竹内悠, 権丈淳, 佐道泰造, 宮尾正信
Si 及び SiO₂ 上における強磁性体シリサイド Fe₃Si の形成と評価
[平成 16 年度電気関係学会九州支部連合大会(2004), (05-2P-07) 鹿児島 2004/9/27-28]
- 29) 上田公二, 松林一也, 角田功, 佐道泰造, 権丈淳, 宮尾正信
固相成長法による磁性金属ナノドット/SiO₂ の高密度形成
[平成 16 年度電気関係学会九州支部連合大会(2004), (05-2P-08) 鹿児島 2004/9/27-28]
- 30) Takeshi Sakaguchi, Hyuckjae Oh, Hoon Choi, Jicheol Bea, Jeoung-Chill Shim, Takahumi Fukushima, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
Nickel Silicide Formation of SiGe selectively epitaxial growth layer on Silicon-on-Insulator
[Third International Workshop on NEW GROUP IV (Si-Ge-C) SEMICONDUCTORS: CONTROL OF PROPERTIES AND APPLICATIONS TO ULTRAHIGH SPEED AND OPTO ELECTRONIC DEVICES, (2004) Oct. 12-13]
- 31) Hoon Choi, Hyuckjae Oh, Takeshi Sakaguchi, Mungi Park, Jicheol Bea, Takahumi Fukushima, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi
Novel SOI MOSFETs with Buried Back Gate Control
[Third International Workshop on NEW GROUP IV (Si-Ge-C) SEMICONDUCTORS: CONTROL OF PROPERTIES AND APPLICATIONS TO ULTRAHIGH SPEED AND OPTO ELECTRONIC DEVICES, (2004) Oct. 12-13]
- 32) Mistu Koyanagi, Masaaki Takata and Hiroyuki Kurino
Metal Nano-Dt Memory for High-Density Non-Volatile Memory Application
[Proceedings of 7th International Conference on Solid-State Integrated Circuits Technology (ICSIT) Beijing, China, 18-21st Oct 2004]
- 33) Takeshi Sakaguchi, Mitsumasa Koyanagi
Fabrication and Evaluation of Fully Depleted SOI MOSFET with Buried Back Gate
[The 2nd International Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology, Sendai, 2005.2]
- 34) 尹成寛、裴志哲、洪連基、坂口武史、呉赫宰、福島誉史、栗野浩之、名取研二、宮尾正信、小柳光正
FePt磁気ナノドットの揮発性メモリへの適用
[2005年春季第52回応用物理学会学術講演会 29p-V-9 No.3 埼玉大学 2005年 3月29日、30日、31日、4月1日]
- 35) 坂口武史、呉赫宰、裴志哲、沈正七、福島 誉史、栗野浩之、小柳光正
犠牲サイドウォール手法による極薄SOI-MOSFETの作製
[2005年春季第52回応用物理学会学術講演会 31p-YE-9 No.2 埼玉大学 2005年

- 3月29日、30日、31日、4月1日]
- 36) 清水共、名取研二、中村淳、名取晃子
第一原理計算による超薄膜 Al/Si 界面の検討：Si 面方位依存
[2005 年春季第 52 回応用物理学関係連合会講演会 埼玉大学 2005 年 3 月 29 日、30 日、4 月 1 日]
- 37) 上田公二、大江雄二、佐道泰造、権丈淳、栗野浩之、小柳光正、宮尾正信
絶縁膜上における金属ナノドットの高密度形成(3)：基板温度効果
[2005 年春季第 52 回応用物理学関係連合会講演会 1p-YC-4 埼玉大学 2005 年 3 月 29 日、30 日、4 月 1 日]
- 38) 竹内悠、佐道泰造、権丈淳、宮尾正信
分子線エピタキシー法による Fe₃Si 薄膜/Si 構造の形成と評価
[2005 年春季第 52 回応用物理学関係連合会講演会 1p-YC-3 埼玉大学 2005 年 3 月 29 日、30 日、4 月 1 日]
- 39) 佐道泰造、竹内悠、権丈淳、宮尾正信
Si 基板上における Fe₃Si 薄膜のエピタキシャル成長と評価
[電子情報通信学会・電子デバイス研究会 (ED2005-13) 2005 年 4 月]
- 40) S. Kono, M. Shiraishi, T. Aoyama, M. Shimomura, K. Sakamoto, T. Suzuki, T. Goto, T. Abukawa, H. Umezawa, and H. Kwarada
Photoelectron diffraction study of CVD diamond surface conductivity
[10th Int. Conf. New Diamond and Science & Technology, Tsukuba, May 11-14, 2005]
- 41) N. Sakuma, T. Ono, T. Sakai, H. Yoshida, M. Suzuki, S. Kono, T. Goto
Characterization of secondary electron emission from diamond films
[10th Int. Conf. New Diamond and Science & Technology, Tsukuba, May 11-14, 2005]
- 42) Mungi Park, Hoon Choi, Takafumi Fukushima and Mitsumasa Koyanagi
Formation of Ge-on-Insulator Layer by Ge Condensation Technique
[Fourth International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4) 2005 Awaji, Japan, May. 23-26, 2005]
- 43) Shinya Yoshida, Takahito Ono, Shunichi Oi, Masayoshi Esashi
Reversible Electrical Modification on Conductive Polymer for Scanning Multiprobe Data Storage
[The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, Seoul, Korea, June 5-9, 2005]
- 44) T. Sadoh, H. Takeuchi, K. Ueda, A. Kenjo, and M. Miyao
Molecular Beam Epitaxy of Fe₃Si Film on Si Substrate
[2005 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications and Advanced Semiconductor Devices (AWAD), Seoul, Korea Jun.28-30, 2005]
- 45) 半田哲也、名取研二
シリコン・ナノワイヤ FET の電流電圧特性
[2005 年秋季第 66 回応用物理学学会学術講演会 10p-ZN-13 徳島大学 2005 年 9 月 7 日、8 日、9 日、10 日、11 日]
- 46) 上田公二、佐道泰造、権丈淳、小柳光正、宮尾正信
絶縁膜上における金属ナノドットの高密度形成(4)：堆積レート効果

[2005 年秋季第 66 回応用物理学会学術講演会 11a-S-9 徳島大学 2005 年 9 月 7 日、8 日、9 日、10 日、11 日]

- 47) 木塚 怜, 竹内 悠, 佐道泰造, 権丈 淳, 宮尾正信
分子線エピタキシー法による $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Si}$ の低温成長と評価
[2005 年秋季第 66 回応用物理学会学術講演会 10p-S-11 徳島大学 2005 年 9 月 7 日、8 日、9 日、10 日、11 日]
- 48) N. Sakuma, T. Ono, T. Sakai, H. Yoshida, M. Suzuki, S. Kono, T. Goto
Characterization of secondary electron emission from diamond films
[16th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Toulouse, France, 11 - 16 September 2005]
- 49) J.C.Bea, C.-K.Yin, M.Nishijima, T.Fukushima, T.Sadoh, M.Miyao, and M.Koyanagi
Magnetic and Microstructural Properties of FePt L_{10} Nanoparticle Films Fabricated by Self-Assembled Deposition Method
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 50) H.J.Oh, T.Sakaguchi, J.C.Bea, T.Fukushima, and M.Koyanagi
Influences of Ion Implantation Damages on Elevated Source/Drain Formation for Ultra-Thin Body SOI MOSFET
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 51) Hoon Choi, Mungi Park, Takafumi Fukushima, and Mitsumasa Koyanagi
Nickel Germanide Formation on Condensed Ge Layer for Ge-on-Insulator Device Application
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 52) Mungi Park, Hoon Choi, Jicheol Bea, Takafumi Fukushima, and Mitsumasa Koyanagi
Characteristics of Metal Gate GOI-MOSFET with High- k Gate Dielectric Fabricated by Ge Condensation Method
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 53) Cheng-Kuan Yin, Ji-Chel Bea, Young-Gi Hong, Masanobu Miyao, Kenji Natori, Mitsumasa Koyanagi
New Magnetic Flash Memory with FePt Magnetic Floating Gate
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 54) K.Natori and T.Kurusu
Capacitance due to the charge layer thickness in nanoscale capacitors,
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 55) T. Sadoh, H. Takeuchi, K. Ueda, A. Kenjo, and M. Miyao
Epitaxial Growth of Ferromagnetic Silicide Fe_3Si on Si (111) Substrate
[2005 International Conference on Solid State Device and Materials, Kobe, 2005 September 12-15]
- 56) 小柳光正
磁気ナノドットを有する不揮発性メモリの基本特性
[科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) ナノテクノロジー分野別]

バーチャルラボ「超高速・超少電力高性能ナノデバイス・システムの創製」研究領域
公開シンポジウム(2005) 東京ガーデンパレス 平成17年10月18日]

- 57) 木村真幸, 上田公二, 佐道泰造, 権丈淳, 宮尾正信
Pt/Co/SiO₂ 積層構造のアニール特性：原子混合と磁気特性の変化
[平成 17 年度応用物理学会九州支部学術講演会 (2Aa-1) 2005 年 11 月]
- 58) M. Shimomura, D. Ichikawa, T. Kawaguchi, T. Abukawa, T. Aoyama, S. Kono, Y. Fukuda
Chemisorption of pyrazine and pyrrole on Si(001)2x1: Structural study by STM and PED
[Int. Symp. Surface Science and Nanotechnology, Omiya, Japan, Nov.14-17, 2005]
- 59) Shozo Kono and Yasuo Koide
Surface Conductive Layer of CVD Diamond: Simulation of Surface Energy Band
[3rd Int. Symposium on Mechanical Science based on Nanotechnology, Sendai, Nov. 18-19, 2005]
- 60) 河野省三、水落健二、後藤忠彦、虻川匡司、青山朋宏、竹内大輔、加藤宙光、山崎聡
P ドープ n 型 CVD(111)ダイヤモンド薄膜の表面エネルギーバンド
[第 19 回ダイヤモンドシンポジウム 大阪 2005 年 11 月 24、25 日]
- 61) 青山朋弘、天野猶貴、後藤忠彦、虻川匡司、河野省三、安藤豊、澤邊厚仁
X 線光電子回折による Ir(001)基板上 CVD ダイヤモンド成長の研究：対向電極直流放
バイアス処理の効果
[第 19 回ダイヤモンドシンポジウム 大阪 2005 年 11 月 24、25 日]
- 62) Mungi Park, Jicheol Bea, Hoon Choi, Takafumi Fukushima, and Mitsumasa Koyanagi
Characteristics of Metal Gate GOI-MOSFET with High-*k* Gate Dielectric Fabricated by Ge
Condensation Method
[5th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and
Devices '05 (ALC'05) Hawaii, USA, Dec. 4-9, 2005]
- 63) Shozo Kono and Yasuo Koide
Surface Conductive Layer of CVD Diamond: Simulation of Surface Energy Band
[Int. Symposium on Surface Physics 2006, Shizukuishi, Jan. 10-13, 2006]
- 64) 尹成寛、裴志哲、崔勲、西嶋雅彦、福島誉史、田中徹、名取研二、宮尾正信、小柳光
*In-situ*アニールによる自己組織化FePt磁気ナノドットの形成
[2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 22a-G-7 武蔵工業大学 2006年3月22日、
23日、24日、25日、26日]
- 65) 裴志哲、崔勲、尹成寛、福島誉史、佐道泰造、宮尾正信、田中徹、小柳光正
FePtナノドット膜の磁場中アニール効果
[2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 25a-ZM-1武蔵工業大学 2006年3月22日、
23日、24日、25日、26日]
- 66) 名取研二、来栖貴史
弾性散乱下のキャリア輸送とオームの法則
[2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 26p-X-3 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22
日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 67) 清水共、名取研二、中村淳、名取晃子
第一原理計算による極薄膜 Al/Si 界面の検討：界面水素終端の影響

- [2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 22p-V-1 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22 日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 68) 熊野守, 木塚怜, 上田 公二, 権丈 淳, 佐道泰造, 宮尾正信
Ge 基板上における Fe_3Si 薄膜の低温エピタキシャル成長
[2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 25p-D-1 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22 日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 69) 木村真幸, 上田公二, 権丈淳, 佐道泰造, 宮尾正信
[Pt_n/Co_m]/ SiO_2 積層構造のアニーリング：合金化と磁気特性の相関
[2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 25a-D-11 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22 日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 70) 河野省三、田京剛, 天野猶貴, N.I. Plusnin, 水落健二、青山朋宏, 後藤忠彦、虻川匡司、難波暁彦、辰巳夏生, 西林良樹、今井貴浩
リンドーブ CVD ダイヤモンドからの電界放出機構
[2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 23p-Q-13 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22 日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 71) 佐久間尚志, 小野富男, 酒井忠司, 鈴木真理子, 吉田博昭, 河野省三, 後藤忠彦, 竹内大輔, 山崎聡
ダイヤモンドからの二次電子放出特性評価(2)
[2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 23a-Q-9 武蔵工業大学 2006 年 3 月 22 日、23 日、24 日、25 日、26 日]
- 72) K. Ueda, H. Takeuchi, R. Kizuka, M. Kumano, A. Kenjo, T. Sadoh and M. Miyao
Low-Temperature Molecular Beam Epitaxy of Fe_3Si on SiGe
[E-MRS 2006 Spring Meeting, U /PI -05, Nice, France , May 29-June 2, 2006]
- 73) Sergey N. Abolmasov, Takuya Ozaki, and Seiji Samukawa
Characterization of Neutral Beam Source Based on Pulsed Inductively Coupled Discharge: Time evolution of ion fluxes entering neutralizer
[8th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology and 19th Symposium on Plasma Science for Materials (Cairns, Australia, 2-5th July 2006)]
- 74) K. Ueda, R. Kizuka, H. Takeuchi, A. Kenjo, T. Sadoh, and M. Miyao
Influence of Substrate Orientation on Low-Temperature Epitaxial Growth of Ferromagnetic Silicide Fe_3Si on Si
[APAC-SILICIDE 2006 Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides : Science and Technology, E-1, Kyoto, Japan, 2006/7/29-31]
- 75) K. Ueda, R. Kizuka, H. Takeuchi, A. Kenjo, T. Sadoh, and M. Miyao
Influence of Substrate Orientation on Low-Temperature Epitaxial Growth of Ferromagnetic Silicide Fe_3Si on Si
[(APAC-SILICIDE 2006 Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides: Science and Technology, E-1, 2006 The Clock Tower Centennial International Hall Kyoto University, Kyoto, Japan, July 29-31]
- 76) 向井智徳、陣内佛霖、寒川誠二
タイムモジュレーションプラズマ中の塩素負イオン計測
[2006 年秋季第 67 回応用物理学学会学術講演会 立命館大学 2006 年 8 月 29 日、30 日、31 日、9 月 1 日]

- 77) 石川寧、上殿明良、山崎聡、寒川誠二
SiO₂膜におけるプラズマ誘起欠陥（E'center）の熱回復効果に関する評価
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 78) 星野恭之、尾崎卓哉、寒川誠二
F₂パルス変調プラズマによるSiディープエッチングの検討（□）
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 79) 陣内佛霖、寒川誠二
中性粒子ビームによる低誘電率絶縁膜加工プロセスの検討
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 80) 市橋由成、石川寧、清水竜、水原秀樹、沖川満、寒川誠二
CF₃I ガスプラズマを用いた MIS-FET の UV 照射損傷低減効果
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 81) 佐藤充男、鈴木功一、大竹浩人、寒川誠二
高周波磁界センサーによるプラズマ異常放電のリアルタイムモニタリング技術
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 82) 大竹浩人、石川寧、H. Y. Kim, S. J. Hong, 寒川誠二
オンウェハーモニタリングとニューラルネットワークモデリングの融合によるプラズマダメージ予測システムの構築(I)
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 83) 齋藤卓、久保田智広、熊谷慎也、吉井重雄、山下一郎、寒川誠二
単一フェリチン選択配置を用いたナノ構造の作製
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 84) 橋本剛、久保田智広、石川寧、竹口雅樹、田中亮大、三浦篤志、浦岡行治、冬木隆、山下一郎、寒川誠二
中性粒子ビームによるシリコン量子ナノディスク構造の作製と解析
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 85) 奥村啓樹、佐藤義倫、石田真彦、二瓶史行、田路和幸、寒川 誠二
カーボンナノチューブへの中性粒子ビーム照射効果(2)=電気特性への影響=
[2006年秋季第67回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006年8月29日、30日、31日、9月1日]
- 86) 宇恵野章、屋良卓也、寒川誠二
オンウェハモニタリングを用いた大気圧プラズマにおける紫外光測定

[2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006 年 8 月 29 日、30 日、31 日、9 月 1 日]

- 87) S.Kono, K.Mizunouchi, G.Takyo, N.I.Plusnin, T.Aoyama, T.Goto, T.Abukawa, A.Namba, Y.Nishibayashi, T.Imai
Surface Energy Band of Highly Phosphorous-doped Epitaxial CVD Diamond
[17th European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides, Estoril, Portugal September 3-8, 2006]
- 88) Cheng-Kuan Yin, Ji-Chel Bea, Mariappan Murugesan, Mikihiro Oogane, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Kenji Natori, Masanobu Miyao, and Mitsumasa Koyanagi
New Magnetic Nano-Dot Memory with FePt Nano-Dots
[2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 2006, September 12-15]
- 89) K.Natori and T.Shimizu
Ohm's law from a transmission viewpoint
[2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 2006, September 12-15]
- 90) S.Kono, K.Mizunouchi, G.Takyo, N.I.Plusnin, T.Aoyama, T.Goto, T.Abukawa, A.Namba, Y.Nishibayashi, T.Imai
Surface Energy Band and Electron Affinity of Highly Phosphorous-doped Epitaxial CVD Diamond
[7th Russia-Japan Seminar on Semiconductor Surfaces, D-1, Vladivostok, Russia, September 18-20, 2006]
- 91) T. Sadoh, K. Ueda, M. Kumano, and M. Miyao
Low-Temperature Formation of Fe₃Si/SiGe Structures for Spintronics Application
[2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-03, Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006]
- 92) Yongfang Li, Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Fabrication and Evaluation of Thermal Radiation Detector with Dipole Antenna
[The 23rd Sensor Symposium on Sensors, Micromachine and Applied Systems, Sunport Takamatsu, Kagawa, October 5-6, 2006]
- 93) Suk-Ho Song, Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Microprobe with Integrated Single-Electron Transistor for Magnetic Resonance Force Microscopy
[The 23rd Sensor Symposium on Sensors, Micromachine and Applied Systems, Sunport Takamatsu, Kagawa, October 5-6, 2006]
- 94) Keiji Okumura, Yoshinori Sato, Kazuyuki Tohji, and Seiji Samukawa
Damage-free Surface Modification of Carbon Nanotubes using Advanced Neutral Beam
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 95) Suguru Saito, Tomohiro Kubota, Takuo Matsui, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita, and Seiji Samukawa
Fabrication of High Density and High-Aspect Silicon Nano-column Using Neutral Beam Etching and Ferritin Iron Core Mask
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 96) Tomohiro Kubota, Takeshi Hashimoto, Masaki Takeguchi, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita, and Seiji Samukawa

Fabrication of Thin Silicon Nanodisk for Quantum Effect Devices Using Cl Neutral Beam Etching and Ferritin Iron Core Mask
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]

- 97) Michio Sato, Kouichi Suzuki, Hiroto Ohtake, and Seiji Samukawa
Advanced Plasma Anomalous Discharge Monitoring Technology Using Electromagnetic Field Sensors
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 98) Butsurin Jinnai, Toshiyuki Orita, Mamoru Konishi, Jun Hashimoto, and Seiji Samukawa
On-wafer Monitoring of Charge Accumulation during Plasma Etching Processes
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 99) Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, H. Mizuhara, Mitsuru Okigawa, and Seiji Samukawa
Reduction of UV Irradiation Damage in CCD image sensor using CF₃I Gas Plasma
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 100) Yasushi Ishikawa, Akira Uedono, Satoshi Yamasaki, and Seiji Samukawa
Defect Generation due to UV Radiation in Plasma Etching Process
[AVS 53rd International Symposium & Exhibition, (San-Francisco, 12-15th November 2006)]
- 101) 酒井忠司, 小野富男, 佐久間尚志, 吉田博昭, 鈴木真理子, 柳瀬 勇, 石川 宣, 竹内大輔, 山崎雄一, 山崎 聡, 河野省三, 後藤忠彦, 澤邊厚仁, 安藤 豊
ダイヤモンド冷陰極放電灯の作製
[第 20 回ダイヤモンドシンポジウム 東京 2006 年 11 月 21、22 日]
- 102) 大竹浩人、石川寧、市橋由成、寒川誠二
オンウエハモニタリングとニューラルネットワークの融合によるプラズマダメージ予測システム
[第 24 回プラズマプロセッシング研究会 千里ライフサイエンスセンター2007 1/29～1/31]
- 103) S. Kono, G. Takyo, N. Amano, N. I. Plusnin, K. Mizuochi, T. Aoyama, T. Goto, T. Abukawa, A. Namba, N. Tatsumi, Y. Nishibayashi, and T. Imai
Mechanism of Field Emission from a Highly Phosphorous-Doped Chemical Vapor Deposition Diamond (111) Surface
[4th Int. Symposium on Mechanical Science based on Nanotechnology, Sendai, Feb. 22, 2007]
- 104) 田京剛、河野省三、笹岡秀紀、西村一仁
ナノ・ダイヤモンド電子エミッターからの電界放射の起源
[日本表面科学会東北・北海道支部講演会 盛岡 2007 年 3 月 13 日]
- 105) 名取 研二
シリコンの高電界輸送を見直す ―オームの法則と速度飽和―
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 27a-S-C6 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、28 日、29 日、30 日]
- 106) 向井 智徳, 陣内 佛霖, 福本 能之, 大嶋 則和, 波田 博光, 寒川 誠二
トンネル磁気抵抗素子(MTJ)に対するプラズマ照射ダメージの検討

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 107) 石川寧、市橋由成、上殿明良、山崎聡、寒川誠二

SiO₂ 膜におけるプラズマ誘起欠陥の生成および抑制・回復に関する検討

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 108) 陣内佛霖、寒川誠二

中性粒子ビームによる低誘電率絶縁膜加工プロセスの検討(2)

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 109) 大竹浩人、石川寧、市橋由成、寒川誠二

オンウェハモニタリングとニューラルネットワークモデリングの融合によるプラズマダメージ予測システムの構築(II)

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 110) 齋藤卓、米元雅浩、相良暁彦、宮本聡、澤野憲太郎、伊藤公平、白木靖寛、寒川誠二

無損傷中性粒子ビーム加工を用いた SiGe 量子ナノディスク積層構造の作製

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 111) 生駒亨、福田誠一、三浦英生、遠藤和彦、渡部平司、江利口浩二、寒川誠二

中性粒子ビーム酸化を用いた低温プロセスでの低リーク電流極薄 SiO₂ 膜の形成(2)

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 112) 宇恵野 章、屋良 卓也、石川 寧、寒川 誠二

オンウェハモニタリングを用いた大気圧プラズマにおける紫外光測定(2)

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 113) 久保田智広、浦岡行治、冬木隆、竹口雅樹、西岡賢祐、山下一郎、寒川誠二

中性粒子ビームによって作製したシリコンナノディスク構造の電気特性評価

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 114) 橋本剛、久保田智広、石川寧、竹口雅樹、浦岡行治、冬木隆、山下一郎、寒川誠二

NF₃+H₂ ラジカル処理によるシリコン量子ナノディスクの形状制御

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 115) 奥村啓樹、和田章良、佐藤義倫、石田真彦、二瓶史行、田路和幸、寒川誠二

カーボンナノチューブへの中性粒子ビーム照射効果(3)=トランジスタ特性への影響=

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]

- 116) 天野猶貴, 河田宏史, 後藤忠彦, 河野省三
ヘテロ・エピ成長ダイヤモンドの電子状態とバンド接合
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]
- 117) 田京剛、河野省三、笹岡秀紀、西村一仁
ナノ・ダイヤモンド電子エミッターからの電界放射の起源
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、
28 日、29 日、30 日]
- 118) Butsurin Jinnai and Seiji Samukawa
Damage-free Etching Processes of Low Dielectric (Low-k) Films Using the Neutral Beam
[2007 Materials Research Society Spring Meeting San-Francisco, USA, April 9—13,
2007]
- 119) Toru Ikoma, Seiichi Fukuda, Kazuhiko Endo, Heiji Watanabe and Seiji Samukawa
Formation of Low-leakage-current Ultra-thin SiO₂ Films Using Low-temperature Neutral Beam
Oxidation
[2007 Materials Research Society Spring Meeting San-Francisco, USA, April 9—13,
2007]
- 120) Suk-Ho Song, Takahito Ono, Masayoshi Esashi
Microprobe integrated with single-electron transistor for magnetic resonance force microscopy
[The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems
Lyon France, June, 10-14, 2007]
- 121) G. Takyo, S. Kono, T. Goto, H. Sasaoka, K. Nishimura
Origin of field emission from a nano-diamond/carbon nano-wall film
[3rd Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures Matsushima, Japan, June 19-21,
2007]
- 122) Michio Sato, Hiroto Ohtake, and Seiji Samukawa
Real-time monitoring of anomalous-discharge in a high-density plasma chamber
[18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, August 26th
-31st, 2007]
- 123) Y. Ichihashi, Y. Ishikawa, R. Shimizu, H. Mizuhara, M. Okigawa and S. Samukawa
Effects of CF₃I plasma for reducing UV irradiation damage in dielectric film etching processes
[18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, August 26th
-31st, 2007]
- 124) M. Murugesan, J.C.Bea, C.-K. Yin, H.Nohira, E. Ikenaga, T.Hattori,
M.Nishijima, T.Fukushima, T.Tanaka, M.Miyao, and M.Koyanagi
Evaluation of FePt nano-dots by X-ray photoelectron spectroscopy
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日、
6 日、7 日、8 日]
- 125) 名取 研二
バリスティック・チャネル素子におけるソース・ドレイン電極

- [2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日 6 日、7 日、8 日]
- 126) 佐藤大希、宇恵野章、屋良卓也、宮本栄司、寒川 誠二
大気圧プラズマプロセスにおける紫外線の影響
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日 6 日、7 日、8 日]
- 127) 生駒亨、寒川誠二
中性粒子ビームを用いた ALD による $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2/\text{Si}$ スタック構造の選択酸化
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日 6 日、7 日、8 日]
- 128) 和田章良、佐藤義倫、石田真彦、二瓶史行、田路和幸、寒川誠二
カーボンナノチューブへの中性粒子ビーム照射効果 (4)
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日、6 日、7 日、8 日]
- 129) 佐藤愛子、星野恭之、尾崎卓哉、近藤道雄、寒川誠二
 F_2 パルス変調プラズマによる CVD チャンバクリーニング技術の検討
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日、6 日、7 日、8 日]
- 130) 佐藤充男、鈴木功一、寒川誠二
異常放電モニタリング技術と RF 電力停止機能を融合した異常放電抑制システム
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日、6 日、7 日、8 日]
- 131) T. Fukushima, T. Tanaka, and M. Koyanagi
3D Integration Technology Based on Chip-to-Wafer Bonding with Through-Si Vias (TSV)
[第 2 回 低温接合による 3D 集積化研究会(2nd 3D Integration by Low-temperature Bonding Technology), 2007 年 9 月 18 日, 東京, 東京大学]
- 132) Yanli Pei, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka, Mitsumasa Koyanagi
Memory Window Enhancement of MOS Memory Devices with High Density Self-Assembled Tungsten Nano-dot
[The 2007 International Conference on Solid State Device and Materials, Tsukuba, September 18-21, 2007 p. 242-243]
- 133) K. Natori
Role of Source/Drain Electrodes in Ballistic Transport
[The 2007 International Conference on Solid State Device and Materials, Tsukuba, September 18-21, 2007 p. 884-885]
- 134) M. Murugesan, J. C. Bea, C-K. Yin, H. Nohira, E. Ikenaga, T. Hattori, M. Nishijima, T. Fukushima, T. Tanaka, M. Miyao, and M. Koyanagi
Investigation of FePt Nano-Dots Fabricated by Self-Assembled Nano-Dot Deposition Method Using X-ray Photoelectron Spectroscopy
[The 2007 International Conference on Solid State Device and Materials, Tsukuba, September 18-21, 2007 p. 1026-1027]

- 135) T. Fukushima, T. Tanaka, and M. Koyanagi
Thermal Issues of 3D ICs
[Workshop on Driving the future of interconnect in 3D: Thermal and Design Issues in 3D ICs, 11-12 October (2007), Albany, New York]
- 136) Yasushi Ishikawa, Yoshinari Ichihashi, Satoshi Yamasaki, and Seiji Samukawa
Control of SiO₂/Si Interface States during Plasma Etching Processes
[AVS 54th International Symposium & Exhibition, PS2-TuM10, Seattle, USA, October 14 -19, 2007]
- 137) Eiichi Soda, Seiichi Kondo, Yoshinari Ichihashi, Aiko Sato, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa and Shuichi Saito
Low-damage low-k etching by CF₃I plasma with low global warming potential
[AVS 54th International Symposium & Exhibition, PS1-TuA8 Seattle, USA, October 14 -19, 2007]
- 138) Butsurin Jinnai, Fumihiko Oda, Yukihiro Morimoto and Seiji Samukawa
Surface Reaction Enhancement by UV Irradiation during Si Etching with Chlorine Atom Beam
[AVS 54th International Symposium & Exhibition, PS2-WeM2 Seattle, USA, October 14 -19, 2007]
- 139) Takeshi Hashimoto, Tomohiro Kubota, Chi-Hsien Huang, Masaki Takeguchi, Kensuke Nishioka, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita and Seiji Samukawa
Fabrication of defect-free and diameter-controlled silicon nanodisks for future quantum devices by using neutral beam etching
[AVS 54th International Symposium & Exhibition, PS1+NS-WeM9 Seattle, USA, October 14 -19, 2007]
- 140) J. Hashimoto, Y. Yatagai, T. Tatsumi, S. Kawada, M. Konishi, I. Kurachi, Y. Ishikawa and S. Samukawa
On-wafer Real Time Monitoring of Charge-Buildup Voltages during Plasma Etching in Production Equipment
[AVS 54th International Symposium & Exhibition, PS2-ThM7 Seattle, USA, October 14 -19, 2007]
- 141) T. Fukushima, T. Tanaka, and M. Koyanagi
Chip-to-Wafer Stacking for 3D Integration with TSV
[1st International IEEE Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration, 8-9, November (2007), Tokyo]
- 142) Butsurin Jinnai, Fumihiko Oda, Yukihiro Morimoto, and Seiji Samukawa
Role of UV Irradiation during Si Etching Process in Chlorine Plasma [Fifth International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, Tokyo, November 12-14, 2007]
- 143) Takeshi Hashimoto, Chi-Hsien Huang, Tomohiro Kubota, Masaki Takeguchi, Kensuke Nishioka, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita and Seiji Samukawa
Diameter-controlled Defect-free Si Nanostructure Using Neutral Beam Etching for Realistic Quantum Effect Devices
[International Symposium on Dry Process, 5-02, Tokyo, November 13-14, 2007]
- 144) Taiki Sato, Akira Ueno, Takuya Yara, Eiji Miyamoto, Yukiharu Uraoka and Seiji Samukawa
Surface Reactions and Irradiation-Damages of Thin Film Transistor Resist Ashing Process in Atmospheric Plasma
[International Symposium on Dry Process, 8-02, Tokyo, November 13-14, 2007]

- 145) Takafumi Fukushima, Hirokazu Kikuchi, Yusuke Yamada, Takayuki Konno, Jun Liang, Keiichi Sasaki, Kiyoshi Inamura, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi
New Three-Dimensional Integration Technology Based on Reconfigured Wafer-on-Wafer Bonding Technique
[IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Tech. Dig., pp.985-988, (2007), December 10-12 (2007), Washington DC]
- 146) G. Takyō, S. Kono, T. Goto, H. Sasaoka, K. Nishimura
Field emission mechanism from nano-diamond/carbon nano-wall films
[Int. Symposium on Surface Science and Nano-Science 2008, Jan. 23, 2008, Morioka]

③ ポスター発表 (国内会議 29 件、国際会議 34 件)

- 1) T. Sadoh, M. Owatari, Y. Murakami, A. Kenjo, T. Yoshitake, M. Itakura, and M. Miyao
Growth of SiGe/ β -FeSi₂ Superstructure by Annealing of Amorphous Si/FeSiGe Layered Structure
[第 8 回 IUMRS 先進材料国際会議 横浜 2003/10/8-14]
- 2) Y. Murakami, Y. Tsukahara, A. Kenjo, T. Sadoh, Y. Maeda, and M. Miyao
Impurity Conduction in Ion Beam Synthesized β -FeSi₂/Si
[第 8 回 IUMRS 先進材料国際会議 横浜 2003/10/8-14]
- 3) T. Sadoh, Y. Murakami, A. Kenjo, T. Yoshitake, M. Itakura, and M. Miyao
Strain of β -FeSi₂ modulated by Ge segregation in solid-phase growth of [a-Si/a-FeSiGe]_n stacked structure
[第 7 回原子スケール制御表面界面・ナノ構造国際会議 ACSIN-7 奈良 2003/11/16-20]
- 4) 村上裕二、角田功、権丈淳、佐道泰造、吉武剛、宮尾正信
Formation of High Quality β -FeSi₂ by Pre-Amorphization-Enhanced Atomic Mixing
[米国材料学会・秋季大会 B-MRS Boston, 2003/12/1-5]
- 5) Y. Murakami, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Yoshitake, M. Itakura and M. Miyao
Ge-Segregation Controlled Growth of Strained β -FeSi₂(Ge) by Annealing of [Amorphous Si/FeSiGe]_n Multi-Layer
[米国材料学会 秋季大会 B-MRS Boston, 2003/12/1-5]
- 6) Takashi Kurusu and Kenji Natori
Monte Carlo simulation of nanoscale n-i-n diode: Influence of the hot-electron in drain region on ballistic transport
[2004 International Conference on Solid State Devices And Materials, Tokyo, 2004, September 14-17]
- 7) J.C.Bea, K.W.Koh, H.J.Oh, H.Choi, M.G.Lee, T.Tanabe, T.Hirosue, K.T.Park, H.Kurino and M.Koyanagi
Ultra shallow Junction with Elevated SiGe Source/Drain Formed by Laser Induced Atomic Layer Doping
[Third International Workshop on NEW GROUP IV (Si-Ge-C) SEMICONDUCTORS: CONTROL OF PROPERTIES AND APPLICATIONS TO ULTRAHIGH SPEED AND OPTO ELECTRONIC DEVICES (2004) Oct. 12-13]
- 8) S. Kono and Y. Koide
Simulation of band diagram for CVD diamond surface conductivity

- [10th Int. Conf. New Diamond and Science & Technology, Tsukuba, May 11-14, 2005]
- 9) K. Ueda, T. Sadoh, A. Kenjo, F. Shoji, H. Kurino, M. Koyanagi, and M. Miyao
Morphological change of Co-nanodot on SiO₂ by thermal treatment
[2005 The Fourth International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI4), (2005), (23P1-24) Awaji, 2005/5/23-26]
 - 10) S. Kono, M. Shiraishi, T. Aoyama, M. Shimomura, K. Sakamoto, T. Suzuki, T. Goto, T. Abukawa, H. Umezawa, and H. Kawarada
Surface-core-level-shift resolved photoelectron diffraction study of CVD diamond surface Conductivity
[16th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Toulouse, France, 11 - 16 September 2005]
 - 11) T. Aoyama, N. Amano, T. Goto, T. Abukawa, S. Kono, Y. Ando and A. Sawabe
Atomic level characterization of planer-diode bias-treatment in DC plasma hetero-epitaxial diamond growth on Ir (001)
[16th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Toulouse, France, 11 - 16 September 2005]
 - 12) 宮尾正信, 佐道泰造、小柳光正
Si基板上における強磁性薄膜 (Fe₃Si) の室温エピタキシャル成長
[科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) ナノテクノロジー分野別 バーチャルラボ「超高速・超少電力高性能ナノデバイス・システムの創製」研究領域 公開シンポジウム(2005) 東京ガーデンパレス 平成17年10月18日]
 - 13) 宮尾正信, 佐道泰造、小柳光正
絶縁膜上における金属ナノ粒子の高密度形成
[科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) ナノテクノロジー分野別 バーチャルラボ「超高速・超少電力高性能ナノデバイス・システムの創製」研究領域 公開シンポジウム(2005) 東京ガーデンパレス 平成17年10月18日]
 - 14) 尹成寛, 福島誉史, 名取研二, 宮尾正信, 小柳光正
FePt磁性浮遊ゲートを有する不揮発性メモリの基本特性
[科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) ナノテクノロジー分野別 バーチャルラボ「超高速・超少電力高性能ナノデバイス・システムの創製」研究領域 公開シンポジウム(2005) 東京ガーデンパレス 平成17年10月18日]
 - 15) 裴志哲, 福島誉史、大兼幹彦、安藤康夫、宮尾正信, 小柳光正
SAND法により形成したFePtナノドットの微小構造と磁気特性
[科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) ナノテクノロジー分野別 バーチャルラボ「超高速・超少電力高性能ナノデバイス・システムの創製」研究領域 公開シンポジウム(2005) 東京ガーデンパレス 平成17年10月18日]
 - 16) T. Suzuki, K. Sakamoto, T. Abukawa and S. Kono
Structural investigation of the Ca/Si (111)-(2x3) surface using photoelectron diffraction
[Int. Symp. Surface Science and Nanotechnology, Omiya, Japan, Nov.14-17, 2005]
 - 17) 河野省三、水落健二、後藤忠彦、虻川匡司、難波暁彦、西林良樹、今井貴浩
高濃度リンドーブエピタキシャルダイヤモンドの表面エネルギーバンド
[第19回ダイヤモンドシンポジウム、2005年11月24日、25日、大阪]

- 18) S. Kono, K. Mizuochi, T. Goto, T. Abukawa, A. Namba, Y. Nishibayashi, T. Imai
Surface Energy Band of Highly Phosphorous-doped Epitaxial CVD Diamond
[5th Int. Symp. Atomic Layer Characterizations for New Materials and Devices, Kailua-Kona,
U.S.A, Dec. 4-9, 2005]
- 19) 青山朋弘、天野猶貴、後藤忠彦、蛇川匡司、河野省三、安藤豊、澤邊厚仁
Ir(001)基板上へのエピタキシャルダイヤモンド核形成の研究
[日本表面科学会東北支部講演会 仙台 2006.3.9-10]
- 20) 尹成寛、 裴志哲、崔勲、西嶋雅彦、福島誉史、田中徹、名取研二、宮尾正信、小柳光
正
In-situアニールによる自己組織化FePt磁気ナノドットの形成
[2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 22a-G-7 武蔵工業大学 2006年3月22日、
23日、24日、25日、26日]
- 21) 裴志哲、崔勲、尹成寛、福島誉史、佐道泰造、宮尾正信、田中徹、小柳光正
FePtナノドット膜の磁場中アニール効果
[2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 25a-ZM-1 武蔵工業大学 2006年3月22日、
23日、24日、25日、26日]
- 22) K. Ueda, H. Takeuchi, R. Kizuka, M. Kumano, A. Kenjo, T. Sadoh and M. Miyao
Low-Temperature Molecular Beam Epitaxy of Fe₃Si on SiGe
[E-MRS 2006 Spring Meeting, U /PI -05, Nice, France, 2006/5/ 29-6/2]
- 23) Butsurin Jinnai, Yasushi Ishikawa, Tomohiro Kubota, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa
Control of Plasma Process by using On-Wafer Monitoring Technique
[The Third International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration, Matsushima, June
12-13, 2006]
- 24) 生駒亨、田口智啓、福田誠一、遠藤和彦、渡部平司、寒川誠二
中性粒子ビーム酸化を用いた低温プロセスでの低リーク電流極薄 SiO₂ 膜の形成
[2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会 立命館大学 2006 年 8 月 29 日、30 日、
31 日、9 月 1 日]
- 25) S.Kono, K.Mizunouchi, G.Takyo, T.Goto, T.Abukawa, T.Aoyama
Suraface Energy Band of hydrogen terminated n-type CVD Diamond (111)
[17th European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes, and
Nitrides, 5.2.03, Estoril, Portugal September3-8, 2006]
- 26) Toru Ikoma, Chihiro Taguchi, Seiichi Fukuda, Kazuhiko Endo, Heiji Watanabe, and Seiji
Samukawa
Low-Leakage-Current Ultra-thin SiO₂ Film by Low-Temperature Neutral Beam Oxidation
[2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama September
12-15]
- 27) Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, Hideki Mizuhara, Mitsuru Okigawa, and
Seiji Samukawa
Effects of CF₃I Plasma for Reducing UV Irradiation Damage in Dielectric Film Etching
Processes
[2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama September
12-15]
- 28) Hiroto Ohtake, Yasushi Ishikawa, Yoshinari Ichihashi, and Seiji Samukawa

Plasma-damage Prediction System with On-wafer Sensors and Neural Network Modeling
[Sixth International Symposium on Advanced Fluid Information -JAXA-IFS Joint Symposium-,
Tokyo 26-27, October, 2006]

- 29) T. Shimizu, K. Natori, J. Nakamura, and A. Natori
First-Principles Calculation of Electrostatic Property of the Interface : Ultra-thin-Al/Si(111)
[2006 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices -Science and
Technology- (IWDTF 2006), Kawasaki, 2006.11.09]
- 30) 河野省三, 田京 剛, 天野猶貴, N.I.Plusnin, 水落健二, 後藤忠彦, 虻川匡司,
難波暁彦, 辰巳夏生, 西林良樹, 今井貴浩
高濃度リンドーブ CVD ダイヤモンドチップの電界放出電子顕微鏡分光
[第 20 回ダイヤモンドシンポジウム、東京、2006 年 11 月 21、22 日]
- 31) 水落健二, 河野省三, 後藤忠彦, 小泉 聡, 安藤 豊, 澤邊厚仁
CF₄プラズマ処理したn型CVDダイヤモンド(111)表面
[第20回ダイヤモンドシンポジウム、東京、2006年11月21、22日]
- 32) 市原幸雄, 安藤 豊, 澤邊厚仁、天野猶貴, 河野省三
エピタキシャルダイヤモンド薄膜の高品質化
[第 20 回ダイヤモンドシンポジウム、東京、2006 年 11 月 21、22 日]
- 33) J. C. Bea, M. Murugesan, C.-K. Yin , M. Nishijima,T. Fukushima, T. Tanaka, M. Miyao, and M.
Koyanagi
Fundamental Microstructure and Magnetic Properties of Self-Assembled FePt Nano-Dot Film
Annealed by using Magnetic Field Annealing
[The Fifth Nanotechnology Symposium, JAPAN NANO 2007, Tokyo February 20-21, 2007]
- 34) 河野省三, 田京剛, 天野猶貴, N. I. Plusnin, 水落健二, 後藤忠彦, 虻川匡司, 難波
暁彦,
辰巳夏生, 西林良樹, 今井貴浩
高濃度リンドーブ CVD ダイヤモン(111)面からの電界電子放射
[日本表面科学会東北・北海道支部講演会、盛岡、2007年3月14日]
- 35) 熊野 守, 上田公二, 佐道泰造, 権丈 淳, 宮尾正信
MBE 法による Fe₃Si/極薄 SiO₂/Si(111)構造の形成
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 29a-P6-8 青山学院大学 2007 年 3 月 27
日、28 日、29 日、30 日]
- 36) 上田公二, 熊野 守, 権丈 淳, 佐道泰造, 前田佳均, 宮尾正信
Fe₃Si/SiGe ヘテロエピタキシャル成長に与える基板効果
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 29a-P6-4 青山学院大学 2007 年 3 月 27
日、28 日、29 日、30 日]
- 37) 木村真幸, 松本達也, 上田公二, 権丈淳, 佐道泰造, 宮尾正信
CoPt/MgO/Si 構造の固相成長による CoPt 配向制御の検討
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 30a-P10-12 青山学院大学 2007 年 3 月
27 日、28 日、29 日、30 日]
- 38) 熊野 守, 上田公二, 佐道泰造, 権丈 淳, 宮尾正信
MBE 法による Fe MBE 法による Fe₃Si/極薄 SiO₂/Si(111)構造の形成

[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 29a-P6-8 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、28 日、29 日、30 日]

- 39) 上田公二, 熊野 守, 権丈 淳, 佐道泰造, 前田佳均, 宮尾正信
Fe₃Si/SiGe ヘテロエピタキシャル成長に与える基板効果
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 29a-P6-4 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、28 日、29 日、30 日]
- 40) 木村真幸, 松本達也, 上田公二, 権丈淳, 佐道泰造, 宮尾正信
CoPt/MgO/Si 構造の固相成長による CoPt 配向制御の検討
[2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会 30a-P10-12 青山学院大学 2007 年 3 月 27 日、28 日、29 日、30 日]
- 41) C.K. Yin, H. Choi, J.C. Bea, M. Murugesan, J.H. Yoo, T. Fukushima, Y. Murakami, T. Tanaka, D. Shindo, M. Miyao and M. Koyanagi
Magnetic characteristics of FePt nanodots formed by a self-assembled nanodot deposition method
[NSTI Nanotech 2007 10th Annual, Santa Clara, California, USA, May 20-24, 2007]
- 42) T. Sadoh, M. Kimura, K. Ueda, M. Koyanagi, and M. Miyao
Low-Temperature Oriented-Growth in [CoPt/MgO]_n Multi-Layer
[ICSI-5, 5th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, 27P 7-07, Marseille France, 2007/5/20-24]
- 43) S. Kono, G. Takyo, N. Amano, N. I. Plusnin, K. Mizuochi, T. Aoyama, T. Goto, T. Abukawa, A. Namba, N. Tatsumi, Y. Nishibayashi and T. Imai
Mechanism of Field Emission from a Highly Phosphorous-Doped Chemical Vapor Deposition Diamond (111) Surface
[New Diamond and Nano Carbons, Osaka, Japan May 28-31, 2007]
- 44) G. Takyo, S. Kono, T. Goto, H. Sasaoka and K. Nishimura
Origin of field emission from a nano-diamond/carbon nano-wall film
[New Diamond and Nano Carbons, Osaka, Japan May 28-31, 2007]
- 45) T. Kubota, M. Takeguchi, K. Nishioka, Y. Uraoka, T. Fuyuki, I. Yamashita, and S. Samukawa
Coulomb-staircase Effect in Silicon-nanodisk Structures Fabricated Using Damage-free Cl Neutral Beam Etching
[The 2007 Silicon Nanoelectronics Workshop, Kyoto, Japan, June 10-11, 2007]
- 46) Akira Wada, Yoshinori Sato, Masahiko Ishida, Fumiya Nihey, Kazuyuki Tohji and Seiji Samukawa
Damage-free Surface Modification of Carbon Nanotubes using Advanced Neutral Beam
[第 33 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 福岡, 2007 年 7 月 11 日～13 日]
- 47) K. Natori
High Field Transport in Semiconductors by Transmission Formalism
[The 15th International Conference on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS 15), Tokyo, July 23-27, 2007]
- 48) Hiroto Ohtake, Yasushi Ishikawa, Yoshinari Ichihashi and Seiji Samukawa
Plasma-damage Prediction System with On-wafer Sensors and Neural Network
[18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, August 26th -31st, 2007]

- 49) T. Kubota, S. Saito, and S. Samukawa
Low-damage fabrication of high aspect nanocolumns by using neutral beams and ferritin-iron-core mask
[18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, August 26th -31st, 2007]
- 50) Y. Ishikawa, A. Uedono, S. Yamasaki and S. Samukawa
Generation and reduction of UV photon-induced defects during plasma etching processes
[18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, August 26th -31st, 2007]
- 51) 陣内佛霖, 寒川誠二
中性粒子ビームによる低誘電率絶縁膜加工プロセスの検討 (3)
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 52) 陣内佛霖, 小田史彦, 森本幸裕, 寒川誠二
塩素ビーム Si エッチングの表面反応における紫外光の影響
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 53) 久保田智広, 黄啓賢, 竹口雅樹, 西岡賢祐, 浦岡行治, 冬木隆, 山下一郎, 寒川誠二
中性粒子ビームによって作製したシリコンナノディスクの量子ドット特性評価
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 54) 大竹浩人, 石川寧, 市橋由成, 橋本潤, 倉知郁生, 寒川誠二
オンウェハモニタリングとニューラルネットワークの融合による紫外光スペクトル予測システム
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 55) 石川寧, 河田進二, 橋本潤, 倉知郁生, 大竹浩人, 寒川誠二
オンウェハモニタリングを用いた紫外線照射損傷の予測と制御 (6)
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 56) 石川寧, 市橋由成, 山崎聡, 寒川誠二
SiO₂/Si 界面におけるプラズマ誘起界面準位の生成および抑制に関する検討
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 57) 市橋由成, 石川寧, 清水竜, 水原秀樹, 寒川誠二
C-F系ガスプラズマによる絶縁膜エッチングにおける界面準位生成機構の検討
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]
- 58) 橋本剛, 久保田智広, 竹口雅樹, 西岡賢祐, 浦岡行治, 冬木隆, 山下一郎, 寒川誠二
NF₃+水素ラジカル処理によるシリコン量子ナノディスクの直径制御(2)=酸化膜厚依存性=
[2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会 北海道工業大学 2007年9月4日、5日、6日、7日、8日]

- 59) 米元雅浩, 宮本聡, 平野梨伊, 澤野憲太郎, 伊藤公平, 白木靖寛, 寒川誠二
無損傷中性粒子ビーム加工を用いた SiGe 量子ナノディスク積層構造の作製 2
[2007 年秋季 第 68 回応用物理学学会学術講演会北海道工業大学 2007 年 9 月 4 日、5 日、
6 日、7 日、8 日]
- 60) N. Amano, H. Kawata, T. Goto and S. Kono
Electronic structure and junction property of hetero-epitaxial CVD diamond on Ir(001)
[18th European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon nanotubes and
Nitrides, Berlin, Germany, September 9-14, 2007]
- 61) G. Takyu, S. Kono, T. Goto, H. Sasaoka, K. Nishimura
Field emission mechanism from nano-diamond/carbon nano-wall films
[18th European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon nanotubes and
Nitrides, Berlin, Germany, September 9-14, 2007]
- 62) Naoki Amano, Hiroshi Kawata, Tadahiko Goto and Shozo Kono
Electronic structure and junction property of hetero-epitaxial CVD diamond on Ir (001)
[Fifth International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, Nov 13, 2007, Hachioji,
Japan]
- 63) H. Ohtake, Y. Ichihashi, E. Soda, S. Saito and S. Samukawa
Environmentally Harmonized Gas Chemistry for Low-damage, Highly Selective Low-k Etching
[International Symposium on Dry Process, P1-29, Tokyo, November 13-14, 2007]

(4) 特許出願

①国内出願 (2 件)

- 1) 小柳光正、高田雅章：不揮発性半導体記憶素子および製造方法 (特願 2004-121837)
2) 小柳光正、高田雅章：多値不揮発性半導体記憶素子およびその製造方法
(特願 2004-129840)

②海外出願 (0 件)

(5) 受賞等

①受賞

小柳光正

第 1 回光・電子集積技術業績賞 (林厳雄賞)

2004/3/30

応用物理学会

寒川誠二

応用物理学会プラズマエレクトロニクス賞

Highly crystalline 5H-polytype of sp³-bonded boron nitride prepared by plasma -packets-assisted
pulsed-laser deposition

2004/3/30

応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会

小柳 光正

IEEE Jun-ichi Nishizawa Medal

2006/6/24

②新聞報道

小柳 光正

1. 【ナノ粒子で新型メモリー】
日本工業新聞 2003 年 12 月 25 日
2. 【新不揮発性メモリー開発 電荷保持に金属ナノ粒子】
化学工業日報 2003 年 12 月 25 日
3. 【大学 VB の素顔 MPU つなぎ超高速化】
日本経済新聞 2004 年 1 月 28 日
4. 【3 次元LSI来夏にも出荷 東北大が技術開発】
朝日新聞 2004 年 11 月 16 日
5. 【三次元LSI実用急ぐ 東北大の小柳教授 VBの取締役役に就任】
日本経済新聞 2004 年 11 月 16 日
6. 【高性能3次元LSI実用化へ 東北大など】
読賣新聞 2004 年 11 月 16 日
7. 【三次元LSI事業化 東北大、2007 年上場目標に】
日経産業新聞 2004 年 11 月 16 日
8. 【3次元構造LSIを量産へ】
フジサンケイビジネスアイ 2004 年 11 月 16 日
9. 【積層型3次元LSIを量産 東北大とザイキューブ 次世代機器向け用途拡大】
日刊工業新聞 2004 年 11 月 16 日
10. 【3 次元LSI量産へ 07 年から東北大の技術活用】
河北新報 2004 年 11 月 16 日
11. 【新しいソリューション 経営と技術 三次元LSIの積層技術】
電波新聞 2004 年 11 月 19 日
12. 【3 次元LSIザイキューブ 投資額抑えて最先端品量産】
日経産業新聞 2004 年 11 月 29 日
13. 【Benefits stack up for 3-D circuits Japanese venture Zycube to fabricate 3-D circuits】
ELECTRONIC ENGINEERING TIMES NOVEMBER 29, 2004
14. 【The interview Duo has big plans for 3-D circuits】
ELECTRONIC ENGINEERING TIMES JANUARY 24, 2005
15. 【スタンフォード大特任教授東北大学発 VB の顧問に】
日本経済新聞 2005 年 3 月 5 日
16. 【スタンフォード大特任教授東北大学発 VB の顧問に】

日経産業新聞 2005 年 3 月 7 日

17. 【チップ積み上げLSI 東北大が新手法 10 層まで可能 消費電力減も期待】
日本経済新聞 2005 年 12 月 23 日
18. 【三次元集積回路を開発】
毎日新聞 2005 年 12 月 23 日
19. 【3次元LSIを試作 積層構造で高速処理】
河北新報 2005 年 12 月 23 日
20. 【チップ 10 層立体LSI 厚さ 0.3 μm 微細化の壁 突破に期待】
朝日新聞 2005 年 12 月 28 日
21. 【3-D chip vendor corrects course】
ELECTRONIC ENGINEERING TIMES DECEMBER 28, 2005
22. 【貫通配線技術特集 急浮上！貫通配線による 3 次元チップ積層】
半導体産業新聞 2006 年 1 月 18 日
23. 【「IEEE 西澤潤一メダル」日本人 3 人が初受賞】
日刊工業新聞 2006 年 6 月 16 日
24. 【日立フェローが西澤メダル受賞】
日経産業新聞 2006 年 6 月 16 日
25. 【米電気電子学会「ニシザワメダルズ」小柳東北大教授ら受賞 DRAM 積層化に功績】
河北新報 2006 年 7 月 1 日
26. 【電子論評 ザイキューブの貫通電極技術 機能異なるチップ積層】
日経産業新聞 2006 年 12 月 19 日
27. 【東北大学 100 周年企画 東北みらいプロジェクト学び究めて(10)】
河北新報 2007 年 2 月 7 日
28. 【3 次元 LSI の未来展望—小柳光正東北大教授に聞く ～上～】
電波新聞 2007 年 3 月 16 日
29. 【3 次元 LSI の未来展望—小柳光正東北大教授に聞く ～下～】
電波新聞 2007 年 3 月 16 日
30. 【3D-SIC 2007 が開催 3 次元 LSI 技術など意見交換】
電波新聞 2007 年 3 月 27 日
31. 【半導体進化論—イノベーター列伝 第 2 部】
日経産業新聞 2007 年 4 月 23 日

32. 【半導体進化論－イノベーター列伝 第3部】

日経産業新聞 2007 年 5 月 24 日

33. 【電極貫通 厚さ 1/2 CMOS センサー向けパッケージ ザイキューブが技術開発 携帯を薄型化】

日経産業新聞 2007 年 7 月 27 日

寒川誠二

1. 【フィン型ダブルゲート MOSFET の製作】

Solid State Technology 2006 年 6 月

2. 【64M 対応 MRAM 用無損傷磁性体エッチング技術】

日刊工業新聞 2006 年 12 月 5 日 (火)

3. 【中性粒子ビームと生体超分子によるダメージフリー・シリコンナノディスクの作製と構造・欠陥制御】

超高圧透過型電子顕微鏡による解析支援 NEWS (物質・材料研究機構) 2007 年 1 月

4. 【超微細素子の動作成功 小型スーパーコンに道】

日本経済新聞 2007 年 1 月 5 日 (金)

5. 【無傷で微細にメモリー加工】

朝日新聞 2007 年 2 月 14 日 (水)

6. 【10 ナノの円盤構造 東北大、量子効果を確認】

日経産業新聞 2007 年 2 月 19 日 (月)

③その他

表彰

小柳 光正

東北大学総長特別賞

2006. 7. 31

雑誌掲載

1. Business Flash ザイキューブ

NIKKEI NANO BUSINESS 2004.11.22 No.02 pp.2-3

2. Reaserch Flash 東北大と JST

NIKKEI NANO BUSINESS 2005.09.12 No.21 pp.6-7

3. Cover Story 光の時代の明と暗

NIKKEI BYTE 2005 January

その他

1. 3 次元 LSI、05 年発売へ ベンチャー企業と東北大

asahi.com 2004/11/15

2. ザイキューブ、独自の“積層型 3 次元 LSI”の実用・量産化事業を開始-低消費電力/高性能化を低価格に実現可能

ascii24.com 2004/11/15

3. 「国内 5 社、海外 5 社が興味を示している」、ザイキューブが 3 次元実装 LSI の実用化え動き出す
先進デバイス・ニュース 2004/11/15
4. ザイキューブ、東北大学と連携し 3 次元 LSI 事業を本格的スタート
 μ Technology Business 2004/11/15
5. 東北大の小柳教授、貫通ビア使った 3 次元積層 LSI 技術を事業化へ
LSI MANUFACTURES 2004/11/15
6. ザイキューブ、2005 年後半に仙台で試作ラインを立ち上げ
design JAPAN news 2004/11/16
7. 3 次元 LSI を量産、東北大ベンチャーの可能性は @IT 2004/11/16

7 研究期間中の主な活動（ワークショップ・シンポジウム等）

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成15年 4月19日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	16	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成15年 11月1日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	16	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成16年 1月24日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	19	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成16年 4月10日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	16	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成16年 6月10日	International Workshop on Nano- Technology	ケンブリッジ 大学（英国）	45	ナノデバイス、プロセスに関する国 際ワークショップ。磁気ナノドット メモリに関する発表
平成16年 7月10日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	14	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成16年 10月11日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	16	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検

平成17年 3月22日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	14	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成17年 7月23日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	16	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成18年 4月6日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	12	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成19年 1月27日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	11	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検
平成19年 7月21日	チーム内研究打ち合わせ	東北大学	12	研究報告、研究進捗状況の確認、 研究計画の再点検

8 研究成果の展開

(1) 他の研究事業への展開

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の高集積・複合MEMS製造技術開発事業(委託事業)の「MEMS－半導体横方向配線技術の研究開発」プロジェクト(平成18年度～平成20年度)において、フレキシブル配線基板上に搭載したチップ上に高性能のインダクタを形成する手法を提案しているが、インダクタの形成に本研究で開発した磁気ナノドット技術を用いている。銅ダマシン法により形成したコイルの周囲に磁気ナノドット層を挿入して、コイル周囲の実効的な透磁率を大きくしてインダクタンスの値を大きくすることを提案している。

(2) 実用化に向けた展開

金属ナノドット(Co ナノドット)を用いた半導体不揮発性メモリの実用化へ向けて、旭硝子(株)電子部材事業本部と共同研究を行った。

9 他チーム、他領域との活動とその効果

(1) 領域内の活動とその効果

研究領域内での成果報告会やチーム内研究打ち合わせにおいて、貴重なアドバイスを多く頂き、それが本研究の中核技術である良好な磁化特性を有する磁気ナノドットの実現につながった。

(2) 領域横断的活動とその効果

シンポジウムや交流会へ参加することによって、領域横断的な知識や情報を得ることができ、それが本研究の中核技術である良好な磁化特性を有する磁気ナノドットの実現につながった。

10 研究成果の今後の貢献について

(1) 科学技術の進歩が期待される成果

本研究により高密度で耐熱性が高く、良好な磁気特性を示す磁気ナノドットの形成が可能となり、ドットの磁化方向もある程度制御できるようになったことから、電子の数とエネルギーに加えてスピンの状態をも利用した新しいスピントロニクス半導体集積回路の研究を創製することにつながると期待される。また、微細な磁気ナノドットの磁化状態を電子線ホログラフィーを直接観察することに成功したことは、ナノマグネティクス分野の研究を加速するものとしてその意義は大きい。

(2) 社会・経済の発展が期待される成果

本研究により、磁気ナノドット、金属ナノドットの不揮発性メモリへの適用可能性が示され、新しい不揮発性メモリ実現への道が開かれた。特に、FePt を用いた磁気ナノドットに関しては、高密度で耐熱性の高いナノドットの形成が可能となり、ドットの磁化方向もある程度制御できるようになったので、磁気トンネル効果を使った高速・低電力不揮発性メモリの実現可能性が高まった。磁気トンネル効果を利用することによって不揮発性メモリのリテンション特性(情報電荷保持特性)を改善できるだけでなく、薄いトンネル絶縁膜を用いているので書込み、消去電圧を下げて低電力化できるので、AV 機器や各種の情報機器、情報システムの超小型化、超省電力化が期待できる。このような情報機器、情報システムの超小型化、超省電力化を通して本研究の成果はより高度な情報化社会の到来に貢献するだけでなく、メモリや集積回路の製造技術の革新を通して装置産業や素材産業の活性化にも貢献すると期待される。

なお、本研究では、磁気ナノドットを用いた不揮発性メモリ、金属ナノドットを用いた不揮発性メモリ、磁気浮遊ゲートを用いた磁気フラッシュメモリの三種類の新しい不揮発性メモリの可能性を示したが、実用化に関しては作製技術の容易性から、金属ナノドットを用いた不揮発性メモリ、磁気フラッシュメモリ、磁気ナノドットを用いた不揮発性メモリの順で実用化が進むと考えられる。

11 結び

本研究では、磁気トンネル効果を使った新しい不揮発性メモリである磁気ナノドットメモリを実現するために、磁気トンネル・ナノドットの形成と条件の最適化、磁気ナノドッ

ト形成用材料の検討と結晶学的、磁気材料的性質の評価、極微細ナノドット不揮発性メモリを作製するための微細加工、薄膜堆積、拡散技術などの要素プロセス技術の確立、埋め込みビット線形成のためのウェーハ張り合わせ技術とヨーク層形成技術の確立、磁気ナノドット・メモリ用の新しいデバイスモデリングとシミュレーション手法の確立、磁気ナノドット・メモリを用いたメモリベースの新しい回路とアーキテクチャの検討などの個別目標を研究開始当初に設定して研究を開始した。これらの個別目標に関してはほぼ予定通り目標を達成できた。しかし、磁気ナノドットメモリの作製に関しては、新たに開発しなければならなかった要素技術が多く、そのために時間が取られて試作を繰り返し行う時間が充分取れず、電流-電圧特性に明確な磁場依存性を示す磁気ナノドットメモリトランジスタはまだ得られていない。現在、トンネル絶縁膜に良質の Al_2O_3 膜を採用するとともに、磁場中アニールを行った磁気ナノドットメモリトランジスタを作製中であり、この磁気ナノドットメモリトランジスタで磁場依存性をもつ電流-電圧特性が得られるものと考えている。

本研究では、ドット径が 5nm 以下の FePt ナノドットで、室温で良好な硬質磁性体特性が得られたが、これまで、このように小さな磁気ナノドットを半導体素子の中に埋め込んで良好な硬質磁性体特性を実現した例はなかった。また、電子線ホログラフィーを用いて、このように小さなナノドットの磁化の状態を直接観察できたこともこれまで例のないことである。これらの成果は、半導体と磁性材料を融合した新しいナノテクノロジー分野の研究を加速するものとして、その意義は大きい。また、新しい不揮発性メモリの実現という観点からも、本研究で提案している共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリだけでなく、半導体素子と磁気素子を融合した新しい素子実現への道が開かれたということでその意義は大きい。これらの成果については「日経ナノビジネス」等で取り上げられている。今後は、金属ナノドットを用いた不揮発性メモリ、磁気フラッシュメモリ、磁気ナノドットを用いた不揮発性メモリの順で実用化が可能なように、研究を継続して行きたいと考えている。

研究代表者としてのプロジェクト運営については、磁気ナノドットメモリの作製に関して、新たに開発しなければならなかった要素技術が多く、そのために時間が取られて、結果的に試作を繰り返し行う時間が充分取れない状況に至ったことは、研究代表者として反省すべき点であると考えている。また、チーム全体の研究遂行に関しては、戦略的創造研究推進事業の柔軟性と、領域代表の榊裕之先生を始めとするアドバイザーの方々の適切なお指導と研究事務所の方々の真摯な対応が、研究遂行の大きな力となりました。深く御礼申し上げます。本研究プロジェクトには、博士課程後期の学生、ポスドク研究員が多く参加し、本研究プロジェクトが若手研究者の育成にも大きな効果があったことに関しまして、感謝申し上げます。