

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月28日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00992

研究課題名(和文) 理科室で構築するナノテクプラットフォーム

研究課題名(英文) A nanotechnology platform established in average science laboratories

研究代表者

長岡 史郎 (Nagaoka, Shiro)

香川高等専門学校・電子システム工学科・教授

研究者番号：30300635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：半導体各種デバイスの設計製作評価を理科室のような環境で可能する“ナノテクプラットフォーム”の構築について検討した。大気環境下における熱処理により、リンとボロンを選択的かつ同時に行う方法、熱酸化膜作製方法及び焼結による電極作製を提案し、制御性よく実現可能なことを実証した。さらにマスクアライメントなしでパタンの位置合わせを正確にできるリソグラフィ方法を考案し実現した。これらの成果をもとに教育効果の有効性を実際に検証した。物理学分野における初等から先端科学技術教育をシームレスにつなげ、柔軟な発想力の研鑽に貢献できる教育環境構築としてのナノテクプラットフォームを実現できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の急速なIoTの進展に伴い、様々な情報を検知する機能デバイスの要望が高まっている。新規デバイスを創出できる研究開発者及び技術者の育成は、物理や化学、電子回路等を、学校の教室と実験室で学ぶのと同様、早い段階から実際にデバイスの設計製作評価の学習と実験を行うことが重用である。本研究は、先人の斬新な発想を実際に追体験し、アイデアの作り方が学べるよう、さらに現在の最先端技術も学習できるよう、最新の技術と材料を駆使して実験装置とプロセスを簡素化し、“ナノテクプラットフォーム”として再構築した。学生は、理科室等の既存の設備環境で構築されたこの環境下で理解を深め創造性を磨くことができる点で意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Device fabrication experience is important for gaining deep understanding of the science of device physics. A nanotechnology platform has been developed for use in average science laboratories that makes design, fabrication and evaluation possible. Simplified processes including diffusion of Phosphorous and Boron, surface oxidization of silicon substrate, and metal thin film fabrication using thermal assisted silver sintering under normal air environment, and a simplification of the photo lithography process were studied and demonstrated successful fabrication of p-n junctions, MOS and bipolar transistors. The feasibility of the platform as an educational resource was also studied and its effectiveness was confirmed. The results confirm that the platform can be used to establish a nanotechnology platform in average science laboratories as an educational program to cultivate scientific minds and guide students from basics to beyond state of the art technology and science.

研究分野：半導体デバイス

キーワード：Sol-Gel 熱拡散 p-n接合 工学教育 リソグラフィ プロセス デバイス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) トランジスタが発明されて約 60 年が経過した。1958 年にプレーナ技術が出現して以来、半導体デバイスはプレーナ技術を用いたデバイス一色となった。トランジスタ発明当時の限られた技術を工夫して目的の構造を実現する発想から生まれた数々の独創的なデバイスは、現在では技術の歴史の中にその存在を確認できるばかりである。しかし、今それらを見直してみれば、その発想は色あせてはいないことに気付かされる。これらのデバイスと当時の利用可能な技術や材料を駆使した作製方法は、これからデバイスを学習する学生にとって発想の絶好の手本になると同時に、最先端のデバイス開発に取り組む場合における問題発見と解決能力を身につける最良の手本となる。

(2) p-n 接合は、半導体デバイスの基本であり、これを理解することはデバイス物理を理解する上で最初に理解しなければならない最も重要な項目の 1 つである。この 2 つを組み合わせ、理論を学習し、それをもとに学んだデバイスを実際に設計製作評価し学習した理論を確認できる教育プログラムが構築できれば、先人たちのさまざまな発想を系統的に短時間で追体験し、さらに発想の原点である“まねする”ことが可能になるため、創造性を高める格好の教育方法の一つとできる。科学や技術を学ぶ上で特に重要である。これを教育機関で実践するためには、高度な設備を必要とせず短時間で再現性良く p-n 接合が作製できるデバイス作製プロセス、原理に忠実なデバイス構造とそれらの基本的な評価方法が必要であるがこれまでそれは実現できていない。これを実現する鍵となるのは、不純物拡散、回路パターンを作製するための微細加工方法であるリソグラフィ、そして電極作製の簡素化であるが、その取り組みはなされていない。

### 2. 研究の目的

集積化デバイスの作製工程において、Sol-Gel 法で作製したリンけい酸塩ガラス (PSG) 及びホウけい酸塩ガラス (BSG) 薄膜を用いた大気環境化におけるリン (P) 及びボロン (B) の不純物拡散、大気環境化における電極の作製、マスクアライメントが不要なリソグラフィ方法を実現し、これまで実現できなかった半導体デバイスの設計製作評価を理科室のような環境で可能にし、半導体物理を初めとする物理科学の基礎を深い理解を助け、それにより柔軟な発想力の研鑽に貢献できる教育環境を構築すること、それをもとに半導体デバイス分野における初等から先端科学技術教育をシームレスにつなげる教育プログラム構築を支援することを目的とする。

### 3. 研究の方法

理科室のような環境化でデバイスの設計製作評価を実現するためには、(1) 不純物元素の拡散制御、(2) 絶縁膜の作製、(3) 真空装置を用いず電極用薄膜を作製する方法、(4) フォトリソグラフィの 4 つのプロセスの簡素化が鍵となる。そこで(1)から(3)は、拡散炉及び赤外線加熱装置を用い大気環境下での熱処理で、(4)は、フォトマスク作製の簡素化と露光方法及び装置の簡素化で実現することを検討した。各プロセスの簡素化方法と評価方法は以下の通りである。

(1) 不純物拡散では、図 1 に示すように不純物元素としてリン (P) とボロン (B) を選択、Sol-Gel 法で作製した PSG (Phosphorous Silicate Glass) 薄膜及び BSG (Boron Silicate Glass) 薄膜を P (Phosphor) 及び B (Boron) の供給源及び PSG 及び BSG 薄膜を外部からシリコン基板へ侵入する不純物の保護膜として用い、大気環境下で熱処理することで P 及び B を拡散制御する方法について検討した。P と B の濃度と拡散深さをより詳細に制御するため、PSG 用及び BSG 用 Sol-Gel 剤と熱処理によりシリコン酸化膜となる Sol-Gel 剤である SOG (Spin on Glass) とを割合を変えて混合することで混合した Sol-Gel 中の P 及び B の濃度を制御し、拡散深さ及び不純物である P 又は B の濃度の制御性を調べた。拡散深さは、スフェリカルドリル法とステインエッチング法により p 型及び n 型領域を可視化し、顕微鏡を用いて測定した結果をもとに計算により求めた。不純物濃度は、四探針法による表面の抵抗率の測定結果と、抵抗率と不純物濃度の関係を示す図から求めた。P と B の拡散では、PSG 薄膜及び BSG 薄膜をリソグラフィにより拡散させたい場所のみ配置し、熱処理することで、イオン注入と同様に、選択的に不純物拡散することを提案、その実現の可能性を探ること、また拡散深さと不純物濃度の制御の可能性について検討した。

(2) 酸化膜の作製では、大気中でのシリコン基板表面を熱酸化させ、酸化シリコン薄膜を作製する方法と、Sol-Gel 剤である SOG (Spin on Glass) を基板表面に塗布し、熱処理することでシリコン酸化薄膜とする方法の 2 通りの方法を試験した。

(3) 電極の簡素化では、銀の入った焼結後に電極になる材料を用い、スクリーン印刷によりパターンを印刷する方法と、MEMS (Micro Electro Mechanical System) 等によく用いられるシリコン基板を異方性エッチングすることで、電極パターン用の溝を作製し、そこにドクターレード法により電極剤を埋め込み、焼結することで電極とする方法の 2 通りの方法を提案し実現

の可能性を検討した。

(4) リソグラフィの簡素化は、ピンアライメント法を応用したメカニカルアライメント法を応用した新しい方法である ALL (Alignment Less Lithography) を提案し、その実現の可能性を検証した。これは、ピンアライメントで各フォトマスク上の回路パターンを精度良く位置合わせできるようにする方法である。フォトマスクの端面を研削加工することで各回路パターンの原点の位置が各フォトマスク上で同じ位置になるようにし、ピンアライメントのみで X-Y-Z- $\theta$  ステージを用いた回路パターンの位置合わせ結果と同じ精度の実現を目指した。フォトマスクには、研削が簡単にできるように、透明プラスチックシートである OHP シートを用い、回路パターンの設計は、プレゼンテーション用ソフトウェアの作図機能を用いて行い、レーザープリンタで印刷することで、回路の最小寸法の微細化を実現することを目指した。さらにリソグラフィ工程ごとにフォトマスクだけでなく、基板も同じ位置に配置できる高い繰り返し位置決め精度が要求される。そこでこのフォトマスクに加え、フォトマスクと基板とを機械的に同じ位置に配置できるように工夫したジグを用いることで、回路パターンの微細化と回路パターンの高い位置合わせ精度の両立を図り、その実現の可能性を検討した。

#### 4. 研究成果

(1) 大気環境下におけるリンとボロンの熱拡散が実現可能なことを実証した。PSG 薄膜用の Sol-Gel 剤として P8545SF を、また BSG 薄膜用の Sol-Gel 剤として  $B_2O_3$  及び B40MX (いずれも FILMTRONICS 社製) を用い試験した。熱処理温度を 700 から約 1100 まで熱処理温度と時間を変え、拡散深さ  $x_j$  と不純物濃度の制御性を調べた。その結果、P と B の拡散は、Sol-Gel 剤依存と思われる塗布性に差があるが実現可能であること、いずれの材料でも拡散深さ  $x_j$  と不純物濃度  $N$  は、熱処理温度と時間で制御可能なことを確認した。拡散開始温度は、B の方が P に比べ約 100 ほど高い 800 であることがわかった。プレーナ型デバイス作製にはさらに詳細な制御が必要になると思われる。そこで、この方法でより詳細に  $x_j$  と  $N$  を制御するため、PSG と BSG 用 Sol-Gel 剤中の P と B の濃度制御として、SOG 用 Sol-Gel 剤と割合を変えて混合することを考えた。検討の結果、混合による塗布性と拡散のムラ等の問題は発生せず、割合を変えることで、P と B の拡散深さと濃度の詳細制御が可能になったことがわかった。

(2) リソグラフィ工程の簡素化を実現した。図 2 にその結果を示す。マスクアライメントを必要としないリソグラフィ工程、ALL (Alignment Less Lithography) を提案し、その可能性を実証した。事務処理用ソフトウェアの作図機能を使ったフォトマスクパターン設計と加工性のよい OHP シートを使ったフォトマスクの作製方法を検討した。フォトマスクの解像度として約 200 $\mu\text{m}$  を実現する事ができた。さらに、ALL の課題であったフォトマスクの位置合わせ誤差の低減方法を検討に加え、振動による基板とマスクをセット後の位置ずれを防止するため、可搬型の光源を作製した。ピンアライメント用の治具の改良と切断方法を工夫することで誤差をほぼゼロも可能なことを実証できたが、ばらつきが大きいという問題があった。そこでマスクパターンの位置合わせのばらつきを最小限にするため、切断方法を改良し、さらにマスク外周を精密に研磨し、フォトマスク間のパターンずれをなくすことで、マスク合わせ精度を改善することを考案、約 20 $\mu\text{m}$  の位置合わせ精度を実現、ばらつきも少なくできた。この方法は、パターンが見えなくても正確な回路パターンの位置合わせを実現できるため、パターン可視化のためのプロセスや材料の制約をなくすことができるという特徴を実現できた。

(3) P 及び B の選択的熱拡散を実現した。MOS FET を実現するため、シリコン基板上に、リソグラフィにより拡散させたい部分にのみ PSG 膜や BSG 膜を残し熱処理することで、イオン注入と同様の P や B の選択的な拡散を実現する“選択拡散”方法を提案、その可能性を検討した。リソグラフィに使われる全ての溶媒に対する拡散特性への影響と焼結温度による影響を調べた。その結果、PSG 薄膜では拡散特性に変化はなく、全面拡散と同様の拡散特性を確認できた。一方、BSG 薄膜ではリソグラフィ中の薬液処理による PSG 薄膜及び BSG 薄膜中の P と B の濃度変化が原因と思われる拡散特性の差が発生した。そこで、焼結温度を 500 から 600 に変更することで P と同様に B も選択的に拡散させることができた。さらに水素ラジカルを用いたレジストの剥離プロセスについて検討した。その結果焼結処理した多孔質の PSG 薄膜上に塗布したレジストも剥離できることを確認できた。

(4) 焼結による電極作製が可能なことを実証した。電極作製の簡素化を実現するためには、真空装置を用いない方法が必要である。そこで、銀 (Ag) 含有導電性ペーストの大気中の熱処理とシリコンの異方性エッチングを併用してその実現を図った。この処理には、表面温度の時間制御が非常に重要になる。電極作製では、シリコン異方性エッチングを応用した埋込型及び印刷技術を応用し、大気環境下での熱処理で電極作製を実現できた。これにより、全てのデバイス作製プロセスを大気環境下で実行できる工程が可能なことを実証した。

(5) MOS FET プロセスの簡素化を実現した。図 3 にその結果を示す。上記の方法を生かした簡

素化 nMOS FET 作製プロセスについて検討した。デバイスの絶縁層及び素子分離用の絶縁膜として大気中で作製した熱酸化膜 (SiO<sub>2</sub> 膜) を利用することで、MOS FET を実現できた。このプロセスでは、拡散の前に拡散温度と同様の温度で熱酸化膜を作製するため、その後実施する P や B の拡散への悪影響が懸念される。ALL の特徴を生かし、先にソース(S)とドレイン(D)領域に p-n 接合を作製し、その後ゲート絶縁膜とアルミ電極を作製する方法と低温でシリコン酸化膜 (SiO<sub>2</sub> 膜) が作製可能なスピノングラス (SOG) 薄膜を用いて MOSFET を作製する新たなプロセスを提案し、デバイスを作製できた。ALL の特徴を生かす新しいプロセスを考案できた。

(6) CMOS プロセスの簡素化に向けたリンとボロンの選択的同時拡散を実現した。図 4 にその結果を示す。CMOS を実現するため、P の選択拡散及び B の選択拡散を同一基板上で同時に実現する“同時選択拡散”方法について検討した。抵抗率が 1k Ω/cm 程度と高抵抗のシリコン基板を用い、これに選択拡散法で p 型領域を実現するためのボロンの拡散及び n 型領域を実現するためのリンの拡散を選択的にかつ同時に実施する方法、“選択同時拡散”を提案、その可能性を検討した。その結果、高抵抗の n 型シリコン基板上に、選択的に n 型領域 (n ウェル) と p 型領域 (p ウェル) を同時に実現し、さらに n ウェル中に p 領域を、p ウェル中に n 領域を選択同時拡散することができ、各ウェルで pn 接合を実現できた。これらの結果により、CMOS FET を実現できる基礎的なプロセスを実現できた。

(7) 理科室で構築したナノテクプラットフォームの拡張性を検証した。以上の検討結果により、一般的な理科室において、汎用の理化学機器を用いて半導体デバイスを学生自らが、設計製作評価できる環境を構築、その環境における簡素化作製プロセスを確立、学習到達目的に応じて自在に対応できるナノテクプラットフォームを実現できた。この環境を応用し、MEMS や発光デバイスの作製への応用も可能である。教科書にあるトランジスタと同じ構造のトランジスタを 1 回の熱拡散でバイポーラトランジスタを実現できるマイクロ合金型バイポーラトランジスタを提案しその実現の可能性を検討した。図 5 にその結果を示す。シリコンの異方性エッチングを用いてトランジスタとなる部分の寸法を正確に制御し、さらに選択拡散を用いてベース領域の幅を正確に制御することで、実際にトランジスタを実現、本研究の応用の拡張性の高さを実証できた。

(8) ナノテクプラットフォームによる教育効果を検証した。以上の検討結果をもとに、一般的な理科室において、汎用の理化学機器を用いて半導体デバイスを学生自らが、設計製作評価できる環境を構築、その環境における簡素化作製プロセスを確立、学習到達目的に応じて自在に対応できるナノテクプラットフォームを実現した。これを利用し、工学実験の課題としての太陽電池の設計製作評価に必要な基礎データの充実をはかり、それを一般の公開講座に応用した。また、「平成 28 年度海外留学支援制度 (協定派遣・協定受入)」の「短期研修・研究型プログラム」の協定受入プログラムでも教育効果を検証した。プログラムでは、15 名の大学院生を受け入れ、本研究が提案するナノテクプラットフォームにおいて、本研究が提案する簡素化リソグラフィ工程である ALL をもとに単結晶シリコン太陽電池の作製評価を行った。大学院生のうち、デバイス作製が初めての学生も短期間でリソグラフィとデバイスプロセスを体験し理解した。これらの結果から、本研究で提案する、「理科室で構築するナノテクプラットフォーム」の可能性と将来性は大きいと期待される。

## 5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] (計 9 件)

M. Yamamoto, T. Taki, T. Sunada, T. Shikama, S. Nagaoka, H. Umemoto and H. Horibe, Removal of Polymers for KrF and ArF Photoresist Using Hydrogen Radicals Containing a Small Amount of Oxidizing Radicals, J. Photopolym. Sci. Technol., 査読有, 31(3), 2018, pp 419-424

S. Nagaoka, M. Yamamoto, T. Tsuji, K. Matsuda, T. Shimizu, R. W. Johnston, T. Shikama, F. Shimokawa and H. Horibe, Proposal for Reducing Pattern Position Alignment Error of a Simplified Photo Lithography Method for Education, The Proceedings of 12th International Symposium on Advances in Technology Education, 査読有, Vol.1, 2018, pp512-517

辻琢人, 長岡史郎, 若原昭浩, シリコン太陽電池作製実験教材とその科学技術教育活動への応用, 電気評論, 査読有, 103 巻, 2018, pp73-76

M. Yamamoto, T. Shiroy, S. Nagaoka, T. Shikama, H. Umemoto, K. Ohdaira, T. Nishiyama and H. Horibe, Pressure Dependence of Photoresist Removal Rate Using Hydrogen Radicals, Photopolym. Sci. Technol., 査読有, Vol.30(3), 2017, pp297-301

辻琢人, 長岡史郎, 若原昭浩, 科研費による研究成果の社会還元・普及事業へのシリコン太陽電池作製教材の応用, 工学教育, 査読有, 65 巻, 2017, pp38-41

S. Nagaoka, M. Yamamoto, T. Tsuji, T. Shimizu, R. W. Johnston, H. Horibe, F. Shimokawa, T. Shikama and M. Rusop, Fundamental Study of the Simplified Micro Diffusion Bipolar Transistor as the Educational Resource, Transactions of ISATE 2017 The 11th

International Symposium on Advances in Technology Education, 査読有, Vol.1, 2017, pp275-279

S. Nagaoka, T. Tsuji, M. Yamamoto, R.W. Johnston, T. Shimizu, and T. Shikama, A proposal of the Simplified IC Fab Established in the Average Science Laboratory for Cultivating Scientific Mind, The Transactions of ISATE2016, The 10th International Symposium on Advances in Technology Education, 査読有, 2016, pp13-16

N. Takagaki, S. Nagaoka, T. Tsuji, M. Yamamoto, R.W. Johnston, T. Shimizu, T. Shikama, A Study of the Simplified IC FAB for the Science and Technical Education, The Proceeding of the 6th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2016) & 2nd International Students Seminar on Leadership and Networking (ISSLN 2016), 査読有, 2016, pp161-165, ISBN:978-602-1159-20-0

R. Saionji, S. Nagaoka, T. Tsuji, M. Yamamoto, R.W. Johnston, T. Shimizu, T. Shikama, A feasibility study of the selective and simultaneous thermal impurity diffusion process on the silicon substrate, The Proceeding of the 6th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2016) & 2nd International Students Seminar on Leadership and Networking (ISSLN 2016), 査読有, 2016, pp166-171, ISBN:978-602-1159-20-0

[学会発表](計 36 件)

[Invited] M. Yamamoto, T. Shiroy, T. Shikama, S. Nagaoka, H. Umemoto, and H. Horibe, Effect of Oxygen Addition on Rate of Photoresist Removal Using Hydrogen Radicals Produced by a Tungsten Hot-Wire Catalyst, The 10th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2019 (NANO-SciTech 2019), 2019

H. Kunisawa, M. Yamamoto, T. Shimizu, R. W. Johnston, F. Shimokawa, H. Horibe, M. Rusop, and S. Nagaoka, A study for reducing pattern position alignment error of a simplified photo lithography method for the nanotech platform established at the average science laboratory, The 10th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2019 (NANO-SciTech 2019), 2019

松田和典, 長岡史郎, Ge のピエゾ効果(2), 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2019

M. Yamamoto, S. Nagaoka, K. Ohdaira, H. Umemoto, and H. Horibe, Oxygen Additive Effects on Decomposition Rate of Poly(vinyl phenol)-based Polymers Using Hydrogen Radicals Produced by a Tungsten Hot-wire Catalyst, 10th International Conference on Hot Wire (Cat) & Initiated Chemical Vapor Deposition (HWCVD10) (国際学会), 2018

M. Yamamoto, H. Umemoto, S. Nagaoka, T. Shikama, and H. Horibe, Product of the Decomposition in Photoresist Removal using Hydrogen Radicals, The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2018) (国際学会), 2018

S. Nagaoka, J. Kawata, M. Yamamoto and H. Horibe, A Fundamental Study of Resist Pattern Resolution Control with a Resist Sensitivity Curve for Electron Beam Lithography, The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 査読有, 2018

山本雅史, 砂田拓人, 滝智洋, 鹿間共一, 長岡史郎, 梅本宏信, 堀邊英夫, 酸素を微量添加した水素ラジカルを用いた KrF/ArF レジスト用ベースポリマーの除去, 第 35 回国際フォトポリマーコンファレンス(千葉), 2018

S. Nagaoka, J. Kawata, M. Yamamoto and H. Horibe, A Fundamental Study of Resist Pattern Resolution Control with a Resist Sensitivity Curve for Electron Beam Lithography, The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (国際学会), 2018

M. Yamamoto, H. Umemoto, S. Nagaoka, T. Shikama and H. Horibe, Products Of The Decomposition In Photoresist Removal Using Hydrogen Radicals, The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (国際学会), 2018

T. Shiroy, M. Yamamoto, T. Shikama, S. Nagaoka, and H. Horibe, Flow Rate Dependence of Resist Removal Rate Using Hydrogen Radicals, 9th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2018, (Nano-SciTech2018), 2018

M. Yamamoto, T. Shiroy, T. Shikama, S. Nagaoka, and H. Horibe, Photoresist Removal Using Hydrogen Radicals Produced by Tantalum Hot- Wire Catalyst, 9th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2018, (Nano-SciTech2018), 2018

[Invited] S. Nagaoka, M. Yamamoto, T. Tsuji, T. Shimizu, R.W. Johnston, T. Shikama, and H. Horibe, A Proposal of Totally Simplified Educational Semiconductor Device Fabrication Process under Normal Air Environment, 9th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2018, (Nano-SciTech2018), 2018

城井智弘, 山本雅史, 長岡史郎, 鹿間共一, 梅本宏信, 大平圭介, 西山聖, 堀邊英夫, 水素ラジカルを用いたレジスト除去における除去速度の圧力依存性, 第 64 回 応用物理学会 春季学術講演会(東京), 2017

松田和典, 檜原優希, 長岡史郎, 神田洋三, Ge のピエゾ効果, 応用物理学会 2017 年(平成 29 年)春季講演会, 2017

[Invited] S. Nagaoka, K. Shiota, T. Tsuji, M. Yamamoto, R.W. Johnston, H. Horibe and

〔その他〕

長岡史郎、鈴木勝順、窒化シリコン薄膜を用いた超微細デバイス用基板の作製～理科室で構築するナノテクプラットフォームの提案と教育への導入の試み～、NanotechJapan Bulletin, Vol. 10, No. 6, 2017

<http://nanonet.mext.go.jp/magazine>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：堀邊 英夫

ローマ字氏名：Horibe Hideo

所属研究機関名：大阪市立大学

部局名：大学院工学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：00372243

研究分担者氏名：下川 房男

ローマ字氏名：Shimokawa Fusao

所属研究機関名：香川大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：90580598

研究分担者氏名：山本 雅史

ローマ字氏名：Yamamoto Masashi

所属研究機関名：香川高等専門学校

部局名：電気情報工学科

職名：助教

研究者番号（8桁）：60733821

研究分担者氏名：Johnston Robert

ローマ字氏名：Johnston Robert

所属研究機関名：香川高等専門学校

部局名：電子システム工学科

職名：講師

研究者番号（8桁）：60743698

研究分担者氏名：清水 共

ローマ字氏名：Shimizu Tomo

所属研究機関名：香川高等専門学校

部局名：電子システム工学科

職名：講師

研究者番号（8桁）：40455168

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：鹿間 共一

ローマ字氏名：Shikama Tomokazu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

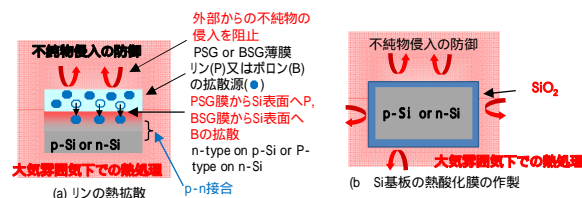


図1 大気環境化での熱処理プロセスによる酸化膜作製及び不純物導入の簡素化

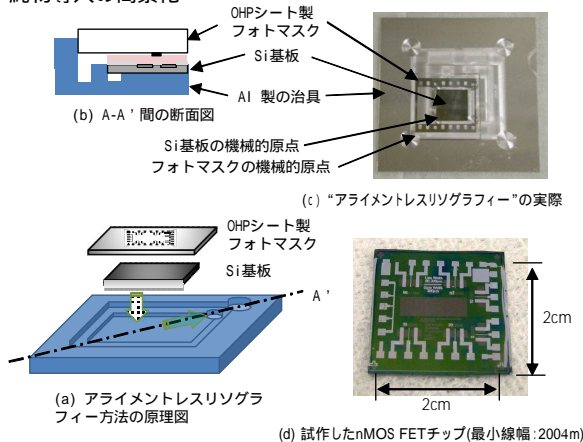


図2 簡素化したリソグラフィ方法：“アライメントレスリソグラフィ(ALL)”

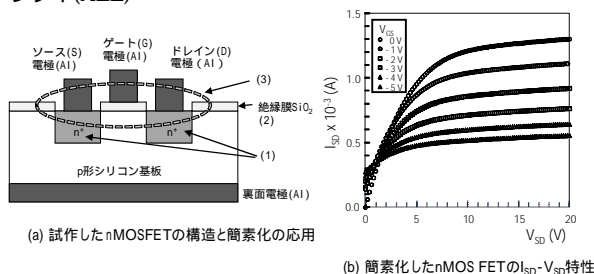


図3 簡素化したnMOS FET

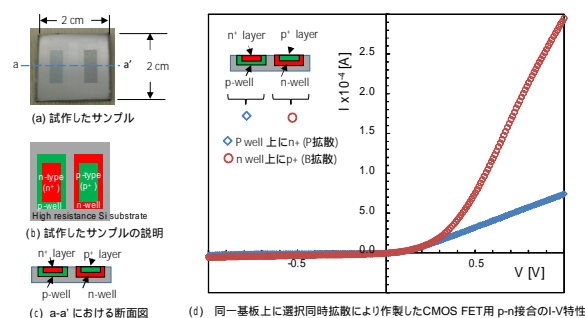


図4 選択同時拡散による CMOS FET の基礎検討結果

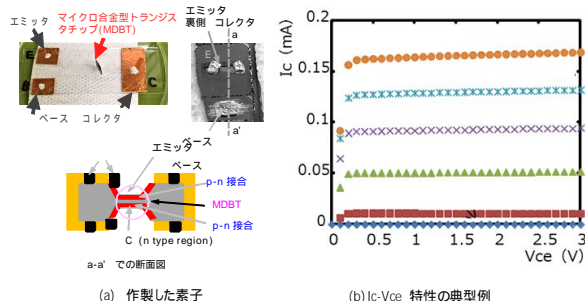


図5 1度の拡散で作製した合金型バイポーラトランジスタ