

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02049

研究課題名(和文) 高圧水素プラズマによる光マネジメント用半導体表面ナノ構造の創成

研究課題名(英文) nanostructuring on semiconductor surface for optical management by high-pressure hydrogen plasma

研究代表者

大参 宏昌 (Ohmi, Hiromasa)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00335382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、薄型結晶シリコン太陽電池の光反射ロス低減のため、Si表面に光反射低減用のナノ構造を廉価で無毒な水素を主体とするプラズマを用いて形成するプロセスの開発を目指した。中圧域の水素プラズマにより何故無反射表面が形成可能か？についての機構を解明する研究を進め、ナノコーン形成には正イオンの入射が重要であること、純粋な水素雰囲気ではナノコーン構造は形成されず、マイクロマスク材として作用する窒化酸化膜の形成が必要であることが分かった。さらに得られたナノコーンは、最大高さが6μmに達し、その絶対光反射率は、波長350-1040 nmの広い範囲で1%を下回り、極めて広帯域での低反射率を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、爆発的な太陽電池普及の主役は、結晶シリコン(Si)太陽電池がになっているが、バルク型結晶Siの形成には、精製や結晶化、さらにはウエハ化の過程で、多大なエネルギー消費と多くの材料ロスが不可欠となっている。本研究の成果は、光吸収係数が良好とは言えない間接遷移型Siについて、現状の太陽電池の変換効率を維持しつつ、Si使用量の低減に繋がる薄型化に貢献する。その加工過程において必要なガスは廉価・無毒な水素ガスのみであり、従来の地球温暖化ガスを用いた手法や毒性・高価な化学薬品を用いた手法に比べ、環境に優しい加工法を開発した。また、広波長域に対する黒体構造の創成は、黒体輻射制御研究の促進に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to reduce the light reflection loss of thin crystalline silicon solar cells, we aimed to develop a process for forming a light anti-reflection nanostructure on the Si surface using inexpensive and non-toxic hydrogen plasma. A study on the mechanism of why an anti-reflective surface can be formed by medium-pressure hydrogen plasma was conducted. It was found that the incidence of positive ions is important for nanocone formation, that nanocone structures are not formed in a pure hydrogen atmosphere, and that an oxynitride film acting as a micromask material is required. Furthermore, the height of the obtained nanocones reached 6 μm at the maximum, and their absolute optical reflectance was below 1% over a wide wavelength range from 350 nm to 1040 nm, realizing low reflectance over an extremely broad band.

研究分野：材料科学

キーワード：水素 プラズマ Si 特殊加工 表面処理 反射率制御

1. 研究開始当初の背景

現在、太陽光発電の主役を担う結晶 Si (c-Si) 太陽電池の発電コストを一層低減するため、結晶 Si の厚みを現在の 1/10 以下にまで薄化した薄型 c-Si 太陽電池の実現が強く求められている。この太陽電池の実現には、Si の加工ロスを極少化する極薄 c-Si 基板作製技術のみならず、薄化 c-Si 中での十分な光吸収を担保する光反射防止、光閉じ込め等の機能をもたらす廉価・簡便な光マネジメント用表面ナノ構造創成技術が必須となっている。このため、**図 1** に示す広帯域の光に対する無反射・光閉じ込め

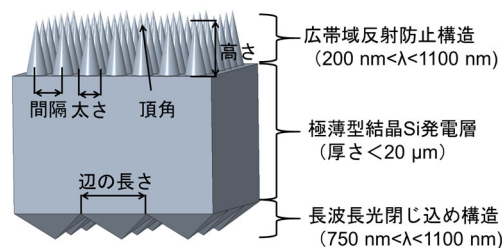


図 1. 薄型結晶 Si 太陽電池に求められる光マネジメント用表面ナノ構造.

効果が期待できる高密度のナノコーン構造 (間隔 400nm 以下、高さ 500nm 以上) やピラミッド構造の形成を目指し、ナノ粒子金属触媒を担持した Si 基板上へ SiH₄ 等の原料ガスを用いて化学気相蒸着する手法、マスク処理後の Si 基板を反応性イオンエッチング (RIE) やウェットエッチングする手法、触媒金属ナノ粒子の援用酸化によりウェットエッチングする手法、さらに He プラズマ曝露による手法などが提案されている。しかしながら、現在までに提案されているナノ構造創成プロセスは、触媒金属が Si 中で電氣的に活性な不純物となる、高価・有毒・地球環境負荷の大きな化成品とそれらの廃棄物処理設備が必要、高真空設備が必要、さらには作製に数時間の処理を要しスループットが悪く高コスト等、いずれかの問題を抱えている。この様な背景から、機能表面ナノ構造を廉価に、地球環境に優しく、高スループットに製造するプロセスが待望されている。

2. 研究の目的

本研究に着手するにあたり、これまで我々は廉価な水素ガスをベースとした中圧域のプラズマを用いて、Si 表面を加工、高機能化するプロセスの開発を進めており、そのなかで、加工後の表面は、加工条件に依存して鏡面となる以外に、コーン状、ピラミッド状、さらには逆ピラミッド状のナノ構造が出現することを見出している。とりわけ、ナノコーン構造は、Si 表面での光反射を極めて低減できるため、太陽電池への利用が期待される。また、水素ガスは、一般的なドライエッチングガスに比べ、極めて廉価であり、無毒、低環境負荷などのメリットがある。このため中圧域の水素プラズマを用いて、表面機能化につながるナノ構造を形成できれば、工業的な意義も大きい。しかしながら、本加工法において、この様な表面構造の作り分けがどのような要因により生じているかは、不明である。そこで、本研究では、廉価・無毒な高圧水素プラズマにより、半導体表面に所望の表面ナノ構造を創成する技術として完成させるため、加工機構を明らかにするとともに、その加工学理を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

本加工系におけるナノコーン形成メカニズムの解明に向け、以下の項目を検討した。

形成されるナノコーンは、いわゆるラジカルエッチングでは観察されない様な比較的アスペクト比の大きな構造である。このため基板への異方性入射イオンの影響を検討するため、基板にバイアス印加し加工、得られる表面形態を評価した。さらに、水素イオンが加工に支配的働きをしている場合、プラズマシースの影響を理解する事が重要であり、さらには広域波長に亘る光反射防止機能を付与するためには、マイクロメートルスケールの構造体とナノスケールの構造体をハイブリッドさせた構造体を形成することが重要と考えている。そこで、アルカリ異方性エッチングにより数十 μm スケールのピラミッド構造を予めシリコン表面に形成した後、水素プラズマによりナノコーン構造を作製し、その構造を評価した。

ここで、プラズマ中の水素系イオンが支配的な加工要素となる場合、直接的なスパッタ、イオン誘起化学反応等のエッチング機構が考えられるが、このほかにも水素イオンが基板との間で電荷交換し、中性ラジカル化した後の水素化エッチング機構も考えられる。この場合、HF 溶液中でのシリコンの陽極酸化で知られるように、基板が n 型であるか p 型であるかに依存して、加工特性が大きく作用される。このため加工特性の抵抗率依存性を調べた。ここで、ラジカルによる化学エッチングが優勢に作用している場合、用いるシリコン基板の結晶面方位に依存して、加工特性に差が生じると考え、面方位の異なる基板、さらには多結晶シリコン基板を用いて、加工特性を調べた。また、ナノコーン形成の際、マイクロマスクとして作用する可能性のある自然酸化膜の有無が、加工後表面形態に与える影響を検討した。さらに、水素ガス中に存在する水、酸素、窒素などの不純物が、ナノコーン構造に与える影響を調査した。このため、水素中に、窒素、酸素、ならびに水分を制御して添加し、形成されるナノコーン構造を調べた。最後に、太陽電池デバイスの形成に向け、水素プラズマ処理後のシリコン表面近傍に形成される欠陥について調査した。ここでは、ナノコーン中に形成される欠陥の熱アニールによる除去を狙うと同時に、熱アニールに対するナノコーン構造の耐熱性を明らかにした。

試料の作製は、**図 2** に示す実験装置を用いて行った。プラズマ処理装置は、温度調整が可能な

試料ステージが設置されており、ドライポンプによる真空排気のみ可能である。シリコン基板は、このステージ上に設置し、任意の温度に設定した。実験開始前にチャンバーをドライポンプで真空排気した後、超高純度水素ガスで回分パージを行い、加工雰囲気を形成した。その後、所定の流量で水素を供給すると同時に、添加不純物の影響を調べるため、水蒸気、窒素、酸素を導入した。加工中のチャンバー内圧力は、概ね 6.6kPa を基本条件として、一定の圧力に維持した。加工用のプラズマは、2.45GHz のマイクロ波電力を投入することで、電極-基板間に生成した。検討した加工条件は、プロセス圧力、基板温度、投入電力、加工時間、ならびに不純物導入量である。

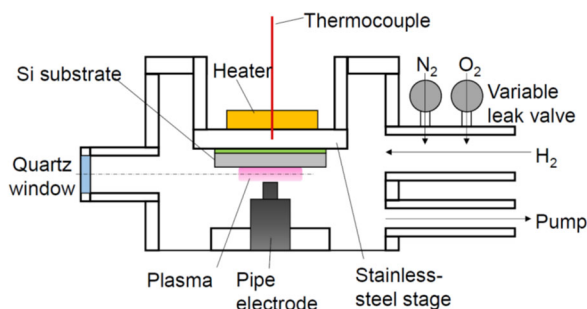


図 2. 中圧水素プラズマ加工装置の概要

形成後の試料の表面・断面形態を電子顕微鏡で観察し、光反射特性については積分球を搭載した紫外可視近赤外分光光度計を用いて評価した。また水素ガス中への不純物添加により Si 基板表面に形成される酸化物、ならびに窒化物からなると考えられるマスク材料の影響を調べるため、赤外吸収分光法、ならびに X 線光電子分光法を用いた。さらに水素プラズマに曝露されたシリコン表面近傍の欠陥生成挙動を評価するため、ラマン分光法、ならびに透過電子顕微鏡を用いた。

4. 研究成果

(1) プラズマ中イオン種の影響と基板種の影響

プラズマ中イオンの影響を調べるため、基板バイアスを印加して加工したシリコンの断面 SEM 像を図 3 に示す。図より、0 V 以下のバイアスを印可した際には、高アスペクト比なナノ構造が形成されているのがわかるが、基板を正バイアスした場合、図のような大きな頂角をもつピラミッド状の突起が低密度に形成されていることが分かる。また、図中に示す電流密度の値は、基板に流れる電子電流を示すが、0V および -50V の時には、これらの値が負の値をとり、イオン電流が支配的となっていることが分かる。また 0V でのイオン電流は、プラズマポテンシャルによりイオンが常に入射していることが分かる。この結果より、基板バイアス印可により大きな影響が見られたことから、ナノコーン構造の形成には、従来の異方性ドライエッチングの雰囲気と比べ高圧にもかかわらず、イオン入射が重要であることが明らかとなった。

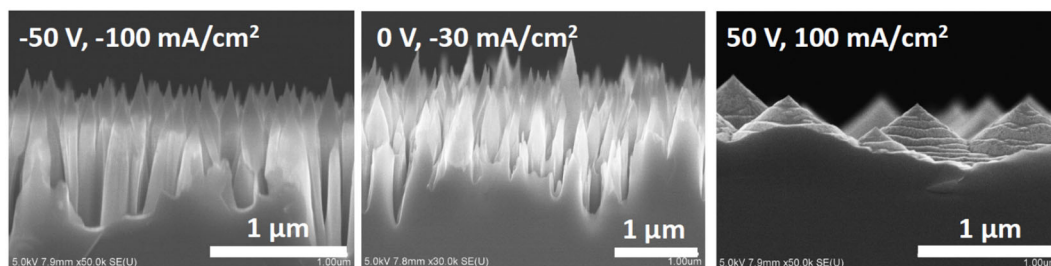


図 3. プラズマ加工形状の基板バイアス依存性(電流密度は電子電流)

以上の結果を受け、入射イオンの挙動を支配しているのは、プラズマと基板界面に形成されるプラズマシース空間である。そこで、KOH 水溶液によるエッチングで Si 表面に高さ 60µm~100µm 程度に粗大化させたマイクロメートルスケールのピラミッドを形成し、これを水素プラズマ加工することで、シース厚さの検討を行った。本実験により、形成されるシース厚さが、マイクロピラミッドの高さよりも十分厚い場合には、シースは表面の平均線(基線)に沿って形成されるため、ナノコーンの形成方向はピラミッド斜面の法線方向ではなく、基板の基線に垂直な方向に成長することとなる。一方で、形成されるシース厚さが、マイクロピラミッドの高さよりも十分薄い場合、シースはピラミッドの斜面に沿う形で形成されるため、ナノコーンもピラミッドの斜面に対して垂直に形成されることが予想される。図 4 にピラミッド付与 Si 基板を水素プラズマ加工した後の断面 SEM 像を示すが、ナノコーンは基板の平均線に対して垂直に形成されることが明らかとなり、本プロセスによって形成されるシース厚さは数十 µm 以上であることが示唆された。このシースによ

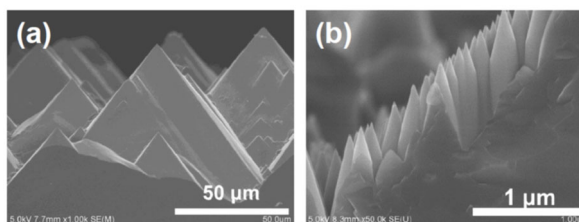


図 4. KOH 水溶液で作製したマイクロメートルスケールピラミッド構造(a)とプラズマ加工後のピラミッド表面の形状(b)

って加速される水素イオン入射が、異方性を担保していると考えられる。

以上の結果から、いわゆる HF 水溶液中での陽極酸化を利用したポーラス Si 作製過程の類推から、正の水素イオン種が試料入射後、基板との電荷交換により、中性水素ラジカルに還元され、それを基点とした水素化酸化反応が進行する機構が考えられた。この場合、加工現象に Si 基板の導電型、ならびにドーパント元素が影響する可能性がある。そこで、B、ならびに P のドーピング元素、ならびに P のドーパ濃度の異なる基板を用いて加工を行った。その結果、いずれの基板においてもナノコーン構造が形成されており、本プロセスは、基板の抵抗率やドーパントに影響されることなく、シリコンナノコーンが作製可能であると言える。このため、p 型、n 型どちらをベースとした太陽電池にも適用できることが分かる。但し、同一の時間処理したものであるが、B ハイドープの p 型 Si では、ナノコーン高さが半減していることから、電荷交換による中性ラジカル生成起因の化学エッチングも重要であることが示唆される。

(2) 基板面方位の影響

ナノコーン形成過程における化学的エッチングの重要性を調べるため、面方位が、(100)、(110)、(111)の単結晶 Si 基板を用い、加工を行った。その結果、いずれの面方位においてもアスペクト比の高いナノコーンが高密度に形成されていることが分かり、さらにいずれの面方位の Si 試料も加工後表面はいずれも (100) 基板の外観と同様、黒色化している様子が観察された。この様な高アスペクトなナノコーンが、いずれの面方位でも形成できたことから、本加工プロセスが、プラズマシースによって加速されたイオンの異方性入射に誘起されたものであることが示唆された。一方、面方位に依存してナノコーン高さが影響を受ける事が明らかとなった。水素プラズマによる Si のエッチングレートは、(100) >> (110) > (111) の順であることから、得られたナノコーン高さは、概ねこのレートの影響を受けているものと考えられる。この結果から、ナノコーン形成には、イオン入射による効果のみならず、化学エッチングの効果も作用していることが示唆される。ナノコーンの異方性はイオン入射により、形状創成はラジカルによるエッチングによるものと考えられる。

そこで、基板を多結晶シリコン基板に変更して、ナノコーンの創成を試みた結果を図 5 に示す。図には、加工前後の実体像を示す。図から明らかとなっており、加工前の試料では、シリコン結晶粒の面方位に依存した光反射挙動により、結晶粒の存在が確認できるが、加工後の試料では、加工領域全体が黒く変色し、結晶粒の区別ができない。図 6 に水素プラズマ処理前後の多結晶シリコンの積分球反射率スペクトルを示すが、加工領域の反射率は、可視光から近赤外域の大部分において 1%以下であり、元の多結晶 Si 基板と比べて大幅に低減されていることが分かる。一般的に多結晶シリコン基板での無反射表面は、フルオロカーボン系プラズマにより形成されるが、本手法では、廉価な水素ガスだけで、多結晶シリコン基板にもナノコーンの創成が可能となった。また得られた反射率スペクトルは、先行研究と比べても、広い波長範囲にわたり、優れた低反射率となっており、水素ベースのプラズマを用いて、世界的にも希有な無反射 Si 表面の創成に成功した。

(3) マイクロマスクは何か？

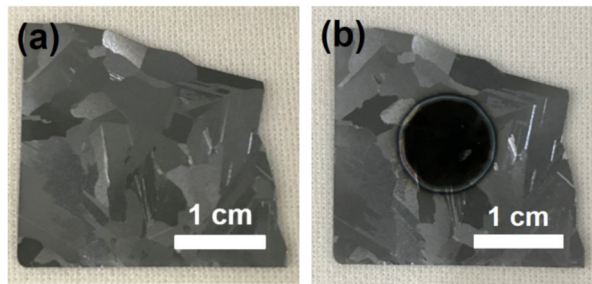


図 5. 加工に用いた多結晶シリコン基板 (a) と水素プラズマ加工後の多結晶シリコン基板 (b) の観察像. (b) 中の黒色部が加工部

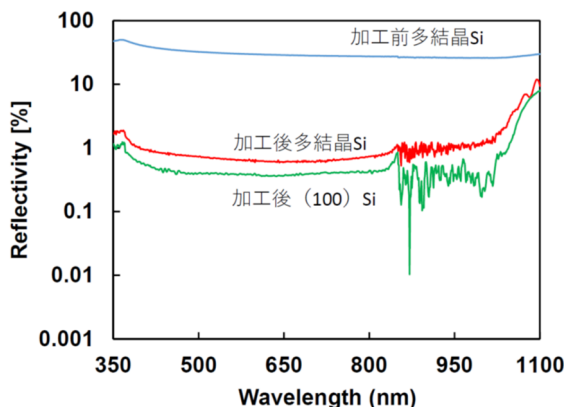


図 6. プラズマ加工前後における多結晶 Si、ならびに単結晶 Si (100) 基板の積分球反射率.

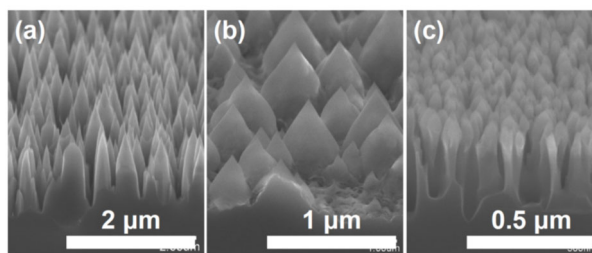


図 7. 水素ガス中に窒素、ならびに酸素を導入することの加工形状に与える効果. (a) 窒素と酸素を同時混合、(b) 酸素のみ混合、(c) 窒素のみを混合.

HF 洗浄の実施の有無により、加工後基板の表面形態を SEM により観察すると、フッ酸洗浄後の基板では、ナノコーンが得られなかったのに対し、自然酸化膜を除去せずに加工した場合、面内に均一に高アスペクト比なナノコーン構造が形成されることが明らかとなった。このことから、基板表面に存在する自然酸化膜がナノコーン形成に影響を及ぼすことが分かった。自然酸化膜がナノコーン形成のマイクロマスクとして作用している事が示唆される。

そこで加工中、マイクロマスクの形成を補助する窒素や酸素などの不純物を水素ガス中に添加し加工を行った。窒素と酸素の両方を水素に添加し加工を行った試料の SEM 像を図 7 に示す。SEM 像より、酸素のみ、ならびに窒素のみを混合して加工した場合、酸素のみの場合、頂角の大きなナノコーンが形成され、窒素のみの場合は、高さはナノサイズであるが、先端が太くなったアスペクト比の大きな構造物の形成が確認できる。一方、酸素と窒素を同時に供給した場合、アスペクト比が高く、先端が先鋭化した構造が得られていることが分かる。以上の結果から、ナノコーン形成において重要なのは、窒素原子と酸素原子の同時供給であると言える。このため、乾燥空気を水素ガス中に添加してプラズマ処理を行うと、ナノコーン構造が再現良く形成できることが分かった。そこで、添加不純物に対する表面構造の変化を考察するため、各雰囲気における表面組成を XPS により分析した。その結果、添加ガス中の窒素分率が 20%以上では、窒素分率の増加に伴って表面の酸素の濃度が減少し、窒素の表面濃度が増加していくことから、混合ガスの添加によってシリコン酸窒化膜が形成されていることが示唆される。この酸窒化膜が、ナノコーン創成に重要となるマスクの役割を果たしている示唆する成果を得た。

(4) ナノコーンの耐熱性とナノコーン中の欠陥挙動

最後にナノコーン構造の耐熱性とナノコーン中に存在する欠陥のアニール挙動を調べた。アニール温度は、450、600、800、1000°C を選択し、窒素雰囲気下にてそれぞれの温度で 2 時間アニールした。その結果、外観を比較すると、いずれも黒色化した表面がアニール前後で維持されており、SEM 観察から、1000°C、2 時間のアニールを実施しても、ナノコーン形状に変化は見られず、先端の先鋭形状をもつナノコーンが維持されていることが分かった。このアニール前後の表面の光反射率は、波長 380nm から 1000nm の範囲で 1%未満の反射率を呈しておりアニール前とほぼ同等の無反射表面となっていることが分かる。このことは、ナノコーン形成後の Si 基板に対して、種々の高温プロセスの採用が可能であることを意味している。

図 8 は、得られた試料のアニール前後の TEM 像を示す。アニール前の試料では、シリコン内欠陥の存在を示す黒線や黒点が多数見られ、多数の欠陥が確認できる。一方、アニール後の試料では、構造内の黒点の密度が明らかに減少し、ナノコーンの厚み変化に応じた等厚干渉縞のみが確認できる。本結果より、ナノコーン創成時に生成した水素誘起欠陥を除去する手法として、1000°C アニールは有効と考えられる。

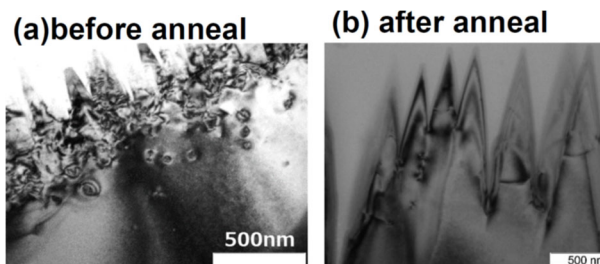


図 8. 熱アニールが Si ナノコーン中の水素誘起欠陥に及ぼす影響. 図はプラズマ加工後 Si 表面近傍の TEM 像. (a)アニール前、(b)1000°Cでのアニール後.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toshimitsu Nomura, Kenta Kimoto, Hiroaki Kakiuchi, Kiyoshi Yasutake, and Hiromasa Ohmi	4. 巻 40
2. 論文標題 Si nanocone structure fabricated by a relatively high-pressure hydrogen plasma in the range of 3.3 - 27 kPa	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1116/6.0001676	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiromasa Ohmi, Kenta Kimoto, Toshimitsu Nomura, Hiroaki Kakiuchi, Kiyoshi Yasutake	4. 巻 129
2. 論文標題 Study on silicon removal property and surface smoothing phenomenon by moderate-pressure microwave hydrogen plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 105780
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mssp.2021.105780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toshimitsu Nomura, Hiroaki Kakiuchi, Hiromasa Ohmi	4. 巻 133
2. 論文標題 Shallow Defect Layer Formation as Cu Gettering Layer of Ultra-thin Si Chips Using Moderatepressure (3.3 kPa) Hydrogen Plasma	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0146215	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 多村尚起, 野村俊光, 垣内弘章, 大参宏昌
2. 発表標題 中圧水素プラズマを用いたシリコンナノコーン形成プロセスに与える水素ガス中不純物の影響
3. 学会等名 2022年度 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野村俊光, 垣内弘章, 安武 潔, 大参宏昌
2. 発表標題 高密度中圧プラズマを用いた極薄シリコンウエハ用ゲッタリング層の形成とその特性評価
3. 学会等名 2022年度 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多村尚起, 野村俊光, 垣内弘章, 大参宏昌
2. 発表標題 高密度中圧水素プラズマを用いたシリコン表面ナノコーンの作製と反射特性評価
3. 学会等名 2021年度 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村 俊光, 多村 尚起, 垣内 弘章, 大参 宏昌
2. 発表標題 水素プラズマにより形成したナノコーン構造シリコン表面の光反射特性
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多村尚起, 野村俊光, 垣内弘章, 大参宏昌
2. 発表標題 高密度中圧水素プラズマを用いたシリコンナノコーン創成 - 結晶面方位とナノ構造の相関 -
3. 学会等名 2021年度 精密工学会関西地方定期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村 俊光、木元 健太、垣内 弘章、安武 潔、大参 宏昌
2. 発表標題 高压水素プラズマによる極薄ゲッタリング層の形成
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村 俊光、木元 健太、垣内 弘章、安武 潔、大参 宏昌
2. 発表標題 中压水素プラズマを用いた高アスペクト比シリコンナノコーンの形成
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshimitsu Nomura, Kenta Kimoto, Hiroaki Kakiuchi, Kiyoshi Yasutake, Hiromasa Ohmi
2. 発表標題 Surface nanostructuring of silicon by intermediate-pressure hydrogen plasma treatment
3. 学会等名 The 18th International Conference on Precision Engineering (ICPE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村俊光、木元健太、垣内弘章、安武潔、大参宏昌
2. 発表標題 中压水素プラズマによるシリコン表面ナノコーン構造の創成
3. 学会等名 2021年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多村 尚起, 野村 俊光, 垣内 弘章, 大参 宏昌
2. 発表標題 マイクロ波水素プラズマによるシリコンナノコーン形成における窒素および水蒸気添加の影響
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Nomura, N. Tamura, H. Kakiuchi, H. Ohmi
2. 発表標題 The impact of air feeding on silicon surface nanostructure formation by moderate-pressure hydrogen plasma
3. 学会等名 ICPE2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Nomura, N. Tamura, K. Sakamoto, H. Kakiuchi, H. Ohmi
2. 発表標題 Effects of minor addition of N ₂ /O ₂ impurities on silicon nanostructure formation behavior in hydrogen plasma process
3. 学会等名 GEC 2022/ICRP-11 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	安武 潔 (Yasutake Kiyoshi) (80166503)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------