(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. September 2020 (24.09.2020)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/187763 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/306 (2006.01) *H01L 33/20* (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/056911

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2020 (13.03.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 106 964.5
19. März 2019 (19.03.2019) DE

(71) Anmelder: **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH** [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: **TAUTZ, Markus**; Ostheim 36, 93055 Regensburg (DE). **DAVIES, Matthew John**; Schmellerstr. 22, 93051 Regensburg (DE). **WELZEL, Martin**; Lindenstr. 7a, 01109 Dresden (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

WO 2020/187763 A1

(54) **Title:** METHOD FOR STRUCTURING A SEMICONDUCTOR SURFACE AND SEMICONDUCTOR BODY COMPRISING A SEMICONDUCTOR SURFACE HAVING AT LEAST ONE STRUCTURE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR STRUKTURIERUNG EINER HALBLEITEROBERFLÄCHE UND HALBLEITERKÖRPER MIT EINER HALBLEITEROBERFLÄCHE, DIE ZUMINDEST EINE STRUKTUR AUFWEIST

FIG 1A

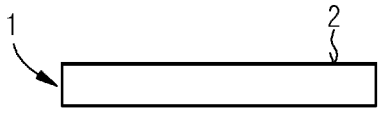


FIG 1B

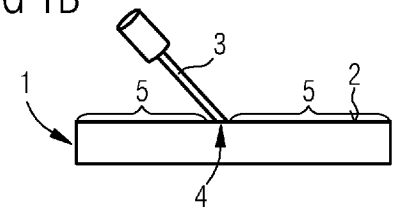


FIG 1C

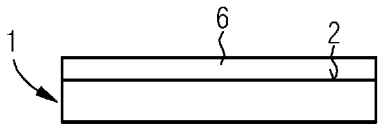


FIG 1D



(57) **Abstract:** A method for structuring a semiconductor surface (2) is specified, comprising the following steps: – providing the semiconductor surface (2), wherein the semiconductor surface (2) is part of a semiconductor layer (1), – irradiating the semiconductor surface (2) with an electron beam (3) in order to produce an irradiated section (4), – wet-chemical etching of the semiconductor surface (2), wherein – an etching rate in the irradiated section (4) is less than that in an unirradiated section (5) of the semiconductor surface (2). Furthermore, a semiconductor body comprising a semiconductor surface (2) having at least one structure is specified.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) mit den folgenden Schritten angegeben: -Bereitstellen der Halbleiteroberfläche (2), wobei die Halbleiteroberfläche (2) Teil einer Halbleiterschicht (1) ist, -Bestrahlen der Halbleiteroberfläche (2) mit einem Elektronenstrahl (3) zur Erzeugung eines bestrahlten Abschnitts (4), -nasschemisches Ätzen der Halbleiteroberfläche (2), wobei -eine Ätzrate im bestrahlten Abschnitt (4) kleiner ist als in einem unbestrahlten Abschnitt (5) der Halbleiteroberfläche (2). Weiterhin wird ein Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche (2), die zumindest eine Struktur aufweist,angegeben.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

VERFAHREN ZUR STRUKTURIERUNG EINER HALBLEITEROBERFLÄCHE UND HALBLEITERKÖRPER MIT EINER HALBLEITEROBERFLÄCHE, DIE ZUMINDEST EINE STRUKTUR AUFWEIST

Es werden ein Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche und ein Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche, die zumindest eine Struktur aufweist, angegeben.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche anzugeben, das eine vereinfachte Strukturierung einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers ermöglicht. Eine weitere zu lösende Aufgabe besteht darin, einen Halbleiterkörper mit einer derart strukturierten Halbleiteroberfläche anzugeben.

Es wird ein Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche angegeben. Bei einer Strukturierung einer Halbleiteroberfläche handelt es sich um die gezielte und kontrollierte Erzeugung von Strukturen auf der Oberfläche einer Halbleiterschicht. Die Halbleiterschicht kann Teil eines Halbleiterkörpers sein oder einen Halbleiterkörper bilden. Die Strukturierung verändert insbesondere die Topografie der Halbleiteroberfläche. Eine durch die Strukturierung erzeugte Struktur kann zum Beispiel insbesondere gegenüber der Halbleiteroberfläche in direkter Nachbarschaft der Struktur hervorgehoben sein und Bereiche der Halbleiteroberfläche, die benachbart zu ihr angeordnet sind, überragen. Beispielsweise kann die Struktur eine Erhebung bilden.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche umfasst das Verfahren ein Bereitstellen einer Halbleiteroberfläche. Die Halbleiteroberfläche kann Teil einer Halbleiterschicht sein. Die Halbleiterschicht kann epitaktisch gewachsen sein. Die Halbleiterschicht kann Bestandteil eines optoelektronischen Bauteils sein und einen aktiven Bereich umfassen, der zur Erzeugung und/oder Detektion von Strahlung dient. Die Halbleiterschicht kann eine Außenfläche aufweisen, die freiliegt. Die Halbleiteroberfläche ist durch diese Außenfläche oder einen Teil der Außenfläche gebildet. Insbesondere kann die Halbleiteroberfläche Teil eines n-leitenden Bereichs, eines nominell undotierten Bereichs oder einer p-leitenden Bereichs der Halbleiterschicht sein. Insbesondere kann die Halbleiteroberfläche als Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche ausgebildet sein.

Gemäß eines Aspekts umfasst das Verfahren eine Bestrahlung der Halbleiteroberfläche mit einem Elektronenstrahl zur Erzeugung eines bestrahlten Abschnitts.

Ein Elektronenstrahl ist insbesondere ein technisch erzeugtes Strahlenbündel aus Elektronen mit definierten Eigenschaften, beispielsweise einer Energie und einer Ausdehnung auf der Halbleiteroberfläche. Die Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche entspricht der Breite des Elektronenstrahls senkrecht zur Strahlrichtung. Sie kann kreisförmig oder annähernd kreisförmig sein und über einen Durchmesser beschrieben werden.

Ein Abschnitt ist insbesondere definiert als ein räumlich begrenzter Bereich der Halbleiteroberfläche. Insbesondere ist

ein Abschnitt als ein Teilstück der Gesamtheit der Halbleiteroberfläche ausgebildet.

Die Bestrahlung des Abschnitts der Halbleiteroberfläche erfolgt über Bewegen des Elektronenstrahls über die gesamte Fläche des Abschnitts, der bestrahlt werden soll.

Bei der Bestrahlung der Halbleiteroberfläche mit einem Elektronenstrahl kann es zu einer Wechselwirkung zwischen den Elektronen des Elektronenstrahls und der Halbleiteroberfläche kommen. Unter Wechselwirkung kann beispielsweise eine Streuung der Elektronen an der Oberfläche und/oder ein Einfangen der Elektronen in der Halbleiterschicht (engl. trapping) und/oder eine Aktivierung von Punktdefekten durch den Einfluss der Elektronen verstanden werden.

Die Wechselwirkung zwischen den Elektronen des Elektronenstrahls und der Halbleiteroberfläche kann in größten Teilen unabhängig von der Bestrahlungsrichtung und dem Bestrahlungswinkel sein. Das bedeutet, dass bei der Bestrahlung von Abschnitten dann keine Vorzugsrichtung existiert. Die Wechselwirkung zwischen den Elektronen des Elektronenstrahls und der Halbleiteroberfläche ist in diesem Fall nicht abhängig von der Kristallstruktur der Halbleiterschicht.

Die Wechselwirkung zwischen den Elektronen des Elektronenstrahls und der Halbleiteroberfläche kann durch eine Fokussierung des Elektronenstrahls auf die Halbleiteroberfläche verstärkt werden. Eine Fokussierung verringert die Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche, wodurch mehr Elektronen auf eine kleinere Fläche gestrahlt werden und die Wechselwirkung

zunehmen kann. Insbesondere ist es möglich, dass eine nachweisbare Wechselwirkung nur bei Fokussierung des Elektronenstrahls auftritt.

Jeder Abschnitt der Halbleiteroberfläche, der in einem direkten Kontakt mit dem Elektronenstrahl tritt und bei dem einen Wechselwirkung erfolgt, bildet einen bestrahlten Abschnitt. Ein direkter Kontakt zwischen Halbleiteroberfläche und Elektronenstrahl bedeutet, dass Elektronen unmittelbar auf die Halbleiteroberfläche auftreffen. Der bestrahlte Abschnitt weist zumindest die Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche auf. Er kann beispielsweise einen Punkt oder eine Kurve auf der Halbleiteroberfläche umfassen. Ein Abschnitt, der nicht von Elektronenstrahl bestrahlt wurde, ist ein unbestrahlter Abschnitt.

Gemäß eines Aspekts umfasst das Verfahren ein nasschemisches Ätzen der Halbleiteroberfläche. Nasschemische Ätzprozesse können anisotrop sein. Nasschemisches Ätzen bedeutet, dass es sich bei der ätzenden Substanz um eine ätzende Flüssigkeit handelt. Somit wird die Halbleiteroberfläche mit einer ätzenden Flüssigkeit behandelt. Insbesondere wird die Halbleiteroberfläche in direkten Kontakt mit der ätzenden Flüssigkeit gebracht. Dabei kann es zum Abtrag und/oder zur Auflösung von Bestandteilen der Halbleiteroberfläche kommen. Insbesondere werden Bestandteile der Halbleiterschicht von der Oberfläche her aus der Halbleiterschicht entfernt. Beispielsweise kann das Halbleitermaterial der Halbleiteroberfläche durch die ätzende Substanz oxidiert und anschließend aufgelöst werden.

Der Abtrag von der Halbleiteroberfläche während des Ätzprozesses kann von einer Vielzahl von prozessabhängigen Größen beeinflusst werden, beispielsweise von der verwendeten ätzenden Substanz, der Konzentration der ätzenden Substanz, der Temperatur der ätzenden Substanz und/oder der Ätzdauer. Die Stärke des Ätzprozesses kann über eine Ätzrate beschrieben werden. Die Ätzrate beschreibt den Zusammenhang zwischen abgetragener Materialmenge und Ätzdauer, also der Zeit, der die Oberfläche der ätzenden Substanz ausgesetzt ist. Je mehr Material pro Zeiteinheit abgetragen wird, desto größer ist die Ätzrate und umgekehrt. Die Ätzrate kann durch die prozessabhängigen Größen des Ätzprozesses beeinflusst werden. Beispielsweise kann eine erhöhte Konzentration oder Temperatur der ätzenden Substanz oder eine verlängerte Ätzdauer zu einem stärkeren Abtrag von der Halbleiteroberfläche führen. Bei gleichbleibenden Ätzbedingungen und vergleichbaren Oberflächen kann der Ätzprozess mit vergleichbaren Ätzraten stattfinden.

Durch nasschemisches Ätzen kann eine Strukturierung, zum Beispiel eine Aufrauung, einer Halbleiteroberfläche erreicht werden, wenn nicht alle Abschnitte der Halbleiteroberfläche gleichmäßig und gleichermaßen abgetragen werden. Ein ungleichmäßiger Abtrag der Halbleiteroberfläche kann durch eine Vielzahl materialabhängiger Größen, beispielsweise Kristalldefekte, eingebaute Fremdatome und/oder Dotierstoffe oder die Wachstumsbedingungen bei der Erzeugung der Halbleiterschicht, hervorgerufen werden. Die entstehenden Aufrauungen können beispielsweise aus pyramidenförmigen Erhebungen auf der Halbleiteroberfläche bestehen. Sie können durch einen verringerten Abtrag an dieser Stelle der Halbleiteroberfläche entstehen. Die entstehenden Erhebungen werden also nicht auf die bestehende Oberfläche aufgetragen,

sondern die bestehende Oberfläche wird zum Teil abgetragen, wodurch an Stellen mit verringertem Abtrag Erhebungen zurückbleiben.

Die prozessabhängigen Größen des Ätzprozesses bestimmen ebenso wie die materialabhängigen Größen die Größe der entstehenden Erhebungen. Eine erhöhte Temperatur oder eine erhöhte Konzentration der ätzenden Flüssigkeit sowie eine verlängerte Ätzdauer können zu einer erhöhten Ätzrate und dadurch zu einer Ausbildung von größeren Erhebungen führen. Da die materialabhängigen Größen die Orte auf der Halbleiteroberfläche bestimmen, an denen Erhebungen entstehen, ist die Aufrauung einer unbehandelten, insbesondere einer unbestrahlten, Halbleiteroberfläche durch nasschemisches Ätzen zufällig und findet unkontrolliert statt.

Gemäß eines weiteren Aspekts ist die Ätzrate im bestrahlten Abschnitt kleiner als in einem unbestrahlten Abschnitt der Halbleiteroberfläche. Dabei wird die gesamte Halbleiteroberfläche demselben Ätzprozess unterzogen. In anderen Worten bestimmen hierbei also nicht die prozessabhängigen Größen die Ätzrate, sondern die unterschiedlichen Ätzraten an unterschiedlichen Stellen der Halbeiteroberfläche werden durch materialabhängige Größen hervorgerufen. Durch ein Bestrahlen der Halbleiteroberfläche mit einem Elektronenstrahl können die Eigenschaften der Halbleiteroberfläche im bestrahlten Abschnitt so verändert werden, dass der Ätzprozess in diesem Abschnitt verlangsamt ist. Mit anderen Worten ist die Ätzrate im bestrahlten Abschnitt verringert. Das Ätzen ist demnach im bestrahlten Abschnitt weniger stark ausgeprägt, was bedeutet, dass das Material der Halbleiteroberfläche im bestrahlten Abschnitt

weniger stark abgetragen und/oder aufgelöst wird als im unbestrahlten Abschnitt. Insbesondere kann der bestrahlte Abschnitt der Halbleiteroberfläche nach dem Ätzen eine Struktur ausbilden und gegenüber den unbestrahlten Abschnitten der Halbleiteroberfläche erhoben sein.

Die Strukturen besitzen Grundflächen auf der Halbleiteroberfläche und können sich mit steigender Entfernung von der Grundfläche verjüngen. Die Strukturen können eine zweite Fläche besitzen, die parallel oder näherungsweise parallel zur Grundfläche angeordnet ist. Die zweite Fläche kann die von der Grundfläche abgewandte Deckfläche der Struktur sein. Die Deckfläche der Strukturen auf der bestrahlten Halbleiteroberfläche entspricht dabei zumindest näherungsweise der Fläche des bestrahlten Abschnitts. Insbesondere kann die Deckfläche der Strukturen eine größere Fläche besitzen als die Fläche des bestrahlten Abschnitts.

Insbesondere können die Deckflächen der Strukturen hinsichtlich ihres Flächeninhalts kleiner als die Grundflächen der Strukturen auf der Halbleiteroberfläche sein. Dadurch kann es zur Ausbildung von schrägen Grenzflächen zwischen den bestrahlten und den unbestrahlten Abschnitten kommen, beispielsweise zur Ausbildung kegel- oder pyramidenstumpfähnlicher Strukturen. Die erhobenen bestrahlten Abschnitte können zufällig aufgeraut sein. Die Aufrauungen können durch den Ätzprozess erzeugt werden. Da die Ätzprozesse in bestrahlten Abschnitten mit verminderten Ätzraten stattfinden können, können die Aufrauungen in bestrahlten Abschnitten eine geringere Größe aufweisen als in unbestrahlten Abschnitten.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche umfasst das Verfahren die folgenden Schritte:

- Bereitstellen der Halbleiteroberfläche, wobei die Halbleiteroberfläche Teil einer Halbleiterschicht ist,
- Bestrahlen der Halbleiteroberfläche mit einem Elektronenstrahl zur Erzeugung eines bestrahlten Abschnitts,
- nasschemisches Ätzen der Halbleiteroberfläche, wobei
- die Ätzrate im bestrahlten Abschnitt kleiner ist als in einem unbestrahlten Abschnitt der Halbleiteroberfläche.

Die hier beschriebenen Verfahrensschritte des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche sind nicht auf diese Reihenfolge festgelegt. Gemäß eines bevorzugten Aspekts finden sie allerdings in dieser Reihenfolge statt. Insbesondere kann das Bestrahlen der Halbleiteroberfläche vor dem nasschemischen Ätzen erfolgen.

Dem Verfahren liegt insbesondere die Erkenntnis zugrunde, dass eine gezielte Elektroneneinstrahlung eine lokale Änderung im Material einer Halbleiteroberfläche hervorruft, wodurch im Rahmen eines bisher unkontrolliert ablaufenden nasschemischen Ätzprozesses eine gezielte Strukturierung der Halbleiteroberfläche erreicht wird. Die Halbleiteroberfläche kann regelmäßig und kontrolliert strukturiert und die Strukturierung der Halbleiteroberfläche über einen nasschemischen Ätzprozess reproduzierbar durchgeführt werden. Insbesondere entstehen dabei Strukturen, die gegenüber benachbarten Bereichen der Halbleiteroberfläche hervorgehoben sind. Konventionell können solche hervorgehobenen Strukturen über trockenchemische Ätzung unter Verwendung einer Ätzmaske erzeugt werden. Die Vorteile einer nasschemischen Ätzung sind eine sehr gute Kosteneffizienz durch einen möglichen

Batchprozess und den Verzicht auf eine oft kostenintensive Ätzmaske sowie keinerlei zurückbleibende Abbauprodukte. Die Bestrahlung mit Elektronen ist darüber hinaus kostengünstiger als die konventionell verwendete Ionenbombardierung, die zudem nicht zu einem geringeren, sondern zu einem stärkeren Abtrag der Halbleiteroberfläche führt.

Eine mögliche Erklärung für die geringere Ätzrate in den bestrahlten Abschnitten der Halbleiteroberfläche kann die Aktivierung von Punktdefekten in der Halbleiterschicht sein. Epitaktisch gewachsene Halbleiterschichten können intrinsische Punktdefekte enthalten, die nach dem epitaktischen Wachstum durch Wasserstoff oder Precursorabbauprodukte passiviert werden können. Zum Beispiel kann der Energieeintrag durch den Elektronenstrahl diese passivierten Punktdefekte aktivieren und dadurch zusätzliche elektronische Zustände im Material der Halbleiterschicht erzeugen. Die Veränderung in den elektronischen Eigenschaften der Halbleiterschicht könnte eine geringere Ätzrate hervorrufen. Beispielsweise ist eine geringere Rate des ratenbestimmenden Hydroxid-Angriffs bei Verwendung einer Lauge möglich.

Alternativ oder zusätzlich könnte eine eingebrachte negative Ladung, beispielsweise durch Einfangen von Elektronen aus dem Elektronenstrahl, in den bestrahlten Abschnitten der Halbleiteroberfläche zu einer geringeren Ätzrate führen. Beispielsweise ist dann eine geringere Rate des ratenbestimmenden Hydroxid-Angriffs bei Verwendung einer Lauge möglich.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche umfasst die Halbleiterschicht einen

III/V-Halbleiter. Ein III/V-Halbleiter weist wenigstens ein Element aus der 3. Hauptgruppe, wie beispielsweise B, Al, Ga, In, und ein Element aus der 5. Hauptgruppe, wie beispielsweise N, P, As, auf. Insbesondere umfasst der Begriff III/V-Halbleiter die Gruppe der binären, ternären oder quaternären Verbindungen, die wenigstens ein Element aus der 3. Hauptgruppe und wenigstens ein Element aus der 5. Hauptgruppe enthalten, wie beispielsweise Nitrid- oder Phosphid-Halbleiter. Eine solche binäre, ternäre oder quaternäre Verbindung kann zudem zum Beispiel einen oder mehrere Dotierstoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen.

Beim nasschemischen Ätzen einer III/V-Halbleiteroberfläche findet eine Aufrauung der Halbleiteroberfläche statt. Die entstehenden Erhebungen auf der Halbleiteroberfläche sind abhängig von der Gitterstruktur des Halbleitermaterials und können beispielsweise pyramidenförmig sein. Bei den pyramidenförmigen Erhebungen kann es sich beispielsweise um hexagonale Pyramiden mit {10-1-1} Kristallfacetten als Seitenflanken der Pyramiden handeln.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens umfasst die Halbleiterschicht einen Nitrid-Halbleiter. In anderen Worten basiert damit die Halbleiterschicht auf einem Nitrid-Halbleitermaterial. "Auf Nitrid-Halbleitermaterial basierend" bedeutet im vorliegenden Zusammenhang, dass die Halbleiterschichtenfolge oder zumindest ein Teil davon ein Nitrid-Halbleitermaterial, vorzugsweise $Al_nGa_mIn_{1-n-m}N$, aufweist oder aus diesem besteht, wobei $0 \leq n \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$ und $n+m \leq 1$. Dabei muss dieses Material nicht zwingend eine mathematisch exakte Zusammensetzung nach obiger Formel aufweisen. Vielmehr kann es beispielsweise ein oder mehrere

dotiert Stoffe sowie zusätzliche Bestandteile aufweisen. Der Einfachheit halber beinhaltet obige Formel jedoch nur die wesentlichen Bestandteile des Kristallgitters, auch wenn diese teilweise durch geringe Mengen anderer Stoffe ersetzt und/oder ergänzt sein können. Zum Beispiel kann es sich bei der Halbleiterschicht um einen GaN-Halbleiter handeln.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens können die Parameter der Bestrahlung der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl variiert werden. Es ist sowohl eine Variation der Parameter des Elektronenstrahls als auch des Bestrahlungsprozesses möglich. Parameter des Elektronenstrahls, die variiert werden können, sind beispielsweise der Durchmesser des Elektronenstrahls und/oder die Elektronenenergie. Parameter des Bestrahlungsprozesses, die variiert werden können, sind beispielsweise die Bestrahlungsdauer und/oder die Geschwindigkeit, mit der der Elektronenstrahl über die Halbleiteroberfläche bewegt wird. Dabei können die Parameter optional während der Bestrahlung verändert oder konstant gehalten werden. Insbesondere kann die Bestrahlung mit vor Bestrahlungsbeginn festgelegten Parametern durchgeführt werden.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens kann der Durchmesser des Elektronenstrahls variiert werden. Je größer der Durchmesser des Elektronenstrahls ist, desto breiter und damit größer ist der bestrahlte Abschnitt auf der Halbleiteroberfläche. Der Durchmesser des Elektronenstrahls kann zum Beispiel zwischen einschließlich 10 nm und einschließlich 50 nm betragen. Beispielsweise kann der Durchmesser des Elektronenstrahls 20 nm betragen. Je geringer der Durchmesser des Elektronenstrahls und damit die mögliche Breite eines bestrahlten Abschnitts ist, desto kleiner kann die erhobene

Deckfläche der entstehenden Strukturen sein. Insbesondere können die Strukturen spitz zulaufen, was den Kontrast der Lichtauskopplung in seitlicher Richtung direkt positiv beeinflussen kann.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens kann die Energie des Elektronenstrahls variiert werden. Je größer die Energie des Elektronenstrahls ist, desto stärker nimmt die mittlere Energie der eingestrahlten Elektronen sowie die Zahl und Energie der angeregten Sekundärelektronen im Halbleiter zu. Eine größere Energie des Elektronenstrahls kann auch zu einer größeren Eindringtiefe der Elektronen in das Material der Halbleiteroberfläche führen und umgekehrt. Die Energie des Elektronenstrahls kann zwischen einschließlich 1 keV und einschließlich 200 keV betragen. Beispielsweise beträgt die Energie des Elektronenstrahls 5 keV, 8 keV, 10 keV oder 12 keV.

Überraschend hat sich gezeigt, dass sich durch eine Variation der Energie des Elektronenstrahls, zumindest im angegebenen Bereich, keine Veränderung bei den erzeugten Strukturen ergibt. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass es sich um ein reines Oberflächenphänomen handelt und die Halbleiteroberfläche durch die Wechselwirkung zwischen den Elektronen des Elektronenstrahls und dem Material der Halbleiteroberfläche beim nachfolgenden Ätzprozess geschützt ist, sodass Bereiche der Halbleiterschicht, die an die Halbleiteroberfläche angrenzen, nicht in direkten Kontakt mit der ätzenden Substanz kommen. Somit besitzt die Eindringtiefe der Elektronen in das Material der Halbleiteroberfläche keinen oder zumindest keinen nachweisbaren Effekt.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens kann die Bestrahlungsdauer der Halbleiteroberfläche variiert werden. Je länger die Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl bestrahlt wird, desto mehr Elektronen werden auf die Halbleiteroberfläche gestrahlt. Die Bestrahlungsdauer der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl kann größer oder gleich 10 ms betragen. Eine längere Bestrahlungszeit der Halbleiteroberfläche kann zu einem geringeren Abtrag aus den bestrahlten Abschnitten der Halbleiteroberfläche bei einem nachfolgenden Ätzprozess führen. Eine kürzere Bestrahlungsdauer führt zu einer kürzeren Prozesszeit, was in produktiven Anwendungen vorteilhaft ist.

Die Bestrahlungsdauer der Halbleiteroberfläche kann über die Geschwindigkeit, mit der der Elektronenstrahl über die Halbleiteroberfläche bewegt wird, beeinflusst werden. Je langsamer der Elektronenstrahl über die Halbleiteroberfläche bewegt wird, desto länger wird der jeweilige Abschnitt der Halbleiteroberfläche bestrahlt. Eine hohe Geschwindigkeit des Elektronenstrahls führt demnach zu einer geringen Bestrahlungsdauer. Eine Bestrahlung entlang einer Linie oder einer Kurve auf der Halbleiteroberfläche kann mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und somit unterschiedlichen Bestrahlungsdauer durchgeführt werden. Dadurch können beispielsweise unterschiedliche Strukturierungen innerhalb eines bestrahlten Abschnitts erhalten werden.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens wird das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche mit einer Lauge durchgeführt. Das bedeutet, dass als ätzende Flüssigkeit für den Ätzprozess eine Lauge verwendet wird. Insbesondere kann das

nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche mit KOH, NaOH, NH_3 oder TMAH durchgeführt werden.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens wird das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche mit einer Säure durchgeführt. Das bedeutet, dass als ätzende Flüssigkeit für den Ätzprozess eine Säure verwendet wird. Insbesondere kann das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche mit Phosphorsäure (H_3PO_4) durchgeführt werden.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens wird die Ätzdauer variiert. Die Ätzdauer beeinflusst die Erhebung der bestrahlten Abschnitte gegenüber den unbestrahlten Abschnitten sowie die Stärke der zufälligen Aufrauung der Halbleiteroberfläche. Je länger die Halbleiteroberfläche geätzt wird, desto stärker ist der Materialabtrag und damit auch die zufällige Aufrauung der Halbleiteroberfläche in den unbestrahlten Abschnitten. Umgekehrt führt eine kurze Ätzdauer dazu, dass die zufällige Aufrauung auf der Halbleiteroberfläche in den unbestrahlten Abschnitten gering ist und sich die bestrahlten Abschnitte deutlich gegenüber der Halbleiteroberfläche abheben. Die Ätzdauer kann zwischen einschließlich 1 Minute und einschließlich 30 Minuten betragen. Beispielsweise beträgt die Ätzdauer 6 Minuten.

Gemäß eines Aspekts wird vor dem nasschemischen Ätzen keine Ätzmaske auf die Halbleiteroberfläche aufgebracht. Das Aufbringen einer Ätzmaske bedeutet, dass ein Maskenmaterial, beispielsweise ein Fotolack, vor dem Ätzen gezielt auf die Abschnitte einer Halbleiteroberfläche, die nicht geätzt werden sollen, aufgebracht und anschließend belichtet wird. Bei anisotropen Ätzverfahren, beispielsweise nasschemischem

Ätzen, kann es bei Verwendung einer Ätzmaske zu Unterätzungen kommen.

Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird weder vor dem Bestrahlen der Halbleiteroberfläche noch vor dem nasschemischen Ätzen eine Ätzmaske, insbesondere Maskenmaterial, auf die Halbleiteroberfläche aufgebracht. Mit anderen Worten ist die Halbleiteroberfläche vor und nach dem Bestrahlen und vor dem nasschemischen Ätzen frei von einer Maskenschicht und/oder einem Maskenmaterial und/oder Ablagerungen, insbesondere organischen Ablagerungen, und/oder Rückständen, insbesondere organischen Rückständen.

Insbesondere weisen die bestrahlten Abschnitte keine Unterätzungen auf. Im Gegenteil können sich die Strukturen mit steigendem Abstand von der Halbleiteroberfläche verjüngen und beispielsweise kegel- oder pyramidenstumpfähnliche Strukturen ausbilden. Beispielsweise können unbestrahlte Abschnitte der Halbleiteroberfläche angrenzend an bestrahlte Abschnitte nicht vertikal geätzt werden, sondern es können sich Pyramidenflanken aufgrund der besonderen Stabilität der {10-1-1}-Flächen entwickeln.

Bei dem hier beschriebenen Verfahren werden die bestrahlten Abschnitte mit einer geringeren Ätzrate geätzt als die unbestrahlten Abschnitte. Mit anderen Worten wird auch in den bestrahlten Abschnitten ein Ätzabtrag erzeugt. Das Ätzen ist in den bestrahlten Abschnitten reduziert, aber nicht gänzlich verhindert. Die Halbleiteroberfläche ist somit nicht mehr in dem ursprünglichen Zustand, den sie vor dem Ätzen aufgewiesen hat. Bei Verwendung einer Ätzmaske würde die ursprüngliche Halbleiteroberfläche unterhalb der Ätzmaske nicht von der

ätzenden Flüssigkeit angegriffen und verbliebe im ursprünglichen Zustand.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens wird der Elektronenstrahl auf der Halbleiteroberfläche entlang einer Kurve geführt. Die bestrahlten Abschnitte weisen somit in zumindest einer Erstreckungsrichtung eine Ausdehnung auf, die größer als die Ausdehnung des Elektronenstrahls ist. Durch Führen des Elektronenstrahls entlang aneinander angrenzender Kurven auf der Halbleiterfläche können Abschnitte bestrahlt werden, die eine Fläche umfassen. Die Form der bestrahlten Abschnitte ist dabei nicht festgelegt. Beispielsweise kann die Halbleiteroberfläche entlang geometrischer Figuren oder Segmenten oder Sektoren geometrischer Figuren bestrahlt werden. Durch den nachfolgenden Ätzprozess können Strukturen mit diesen Formen auf der Halbleiteroberfläche entstehen.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche wird eine Vielzahl an parallelen Abschnitten der Halbleiteroberfläche mit einem Elektronenstrahl bestrahlt, wobei die parallelen Abschnitte eine gemeinsame Haupterstreckungsrichtung besitzen. Parallele Abschnitte sind dabei nebeneinander angeordnet und besitzen im Rahmen der verfahrensbedingten Genauigkeit an jedem Punkt den gleichen Abstand voneinander. Parallele bestrahlte Abschnitte besitzen eine Länge und eine Breite. Die Länge der bestrahlten parallelen Abschnitte ist dabei als die Ausdehnung in der gemeinsamen Haupterstreckungsrichtung zu verstehen. In dieser Richtung ist die Ausdehnung der bestrahlten Abschnitte größer als die Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche. Die Breite der bestrahlten parallelen Abschnitte entspricht zumindest der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der

Halbleiteroberfläche. Insbesondere kann jeder der bestrahlten parallelen Abschnitte durch Führen des Elektronenstrahls entlang einer Kurve oder Linie in Haupterstreckungsrichtung auf der Halbleiteroberfläche erzeugt werden. Beispielsweise können lineare parallele Abschnitte auf der Halbleiteroberfläche bestrahlt werden. Durch den nachfolgenden Ätzprozess können beispielsweise prismenförmige Strukturen mit einer näherungsweise dreieckigen Grundfläche entstehen, insbesondere wenn die Breite der bestrahlten parallelen Abschnitte der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche entspricht. Prismenförmige Strukturen sind insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass sie spitz zulaufen, was den Kontrast der Lichtauskopplung in seitlicher Richtung direkt positiv beeinflussen kann.

Bei der Bestrahlung können die parallelen Abschnitte der Halbleiteroberfläche senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung so weit voneinander entfernt sein, dass sich die durch den Ätzprozess entstehenden Strukturen auf der Halbleiteroberfläche nicht berühren. Dabei kann es beim Ätzprozess zu einer zusätzlichen zufälligen und unkontrollierten Aufrauung der Halbleiteroberfläche in den unbestrahlten Abschnitten kommen. Alternativ können die Abstände der bestrahlten parallelen Abschnitte senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung so gewählt werden, dass sich die durch den Ätzprozess entstehenden Strukturen auf der Halbleiteroberfläche berühren. Dadurch kann die zufällige und unkontrollierte Aufrauung zumindest verringert werden.

Gemäß eines Aspekts wird zumindest ein ringförmiger Abschnitt der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl bestrahlt. Ein ringförmiger Abschnitt umgibt einen näherungsweise kreisförmigen Abschnitt, der nicht oder nur teilweise

bestrahlt ist. Der bestrahlte ringförmige Abschnitt besitzt zumindest die Breite der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche. In anderen Worten kann ein Kreisring bestrahlt werden. Durch den nachfolgenden Ätzprozess kann eine Struktur auf der Halbleiteroberfläche entstehen, die näherungsweise einen Kreisring ausbildet. Wenn die Breite des bestrahlten Abschnitts der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche entspricht, kann die Struktur insbesondere prismenförmig sein. Die prismenförmige Struktur kann den Kontrast der Lichtauskopplung in seitlicher Richtung direkt positiv beeinflussen.

Gemäß eines weiteren Aspekts werden zumindest zwei ringförmige Abschnitte der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl bestrahlt. Die bestrahlten ringförmigen Abschnitte können so angeordnet sein, dass sie sich an einer Stelle berühren oder an zwei Stellen schneiden oder so nebeneinander liegen, dass keine Berührungs- oder Schnittstellen vorhanden sind.

Gemäß eines weiteren Aspekts sind die Radien der bestrahlten Ringe voneinander verschieden. Die bestrahlten ringförmigen Abschnitte können dann sowohl nebeneinander als auch ineinander liegen. Die bestrahlten ringförmigen Abschnitte können sich an einer Stelle berühren oder an zwei Stellen schneiden oder so nebeneinander oder ineinander liegen, dass keine Berührungs- oder Schnittstellen vorhanden sind.

Gemäß eines weiteren Aspekts werden zumindest zwei konzentrische ringförmige Abschnitte der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl bestrahlt. Konzentrische ringförmige Abschnitte umfassen jeweils einen näherungsweise

kreisförmigen Abschnitt, besitzen voneinander verschiedene Radien und liegen so ineinander, dass sie einen gemeinsamen Schwerpunkt besitzen. Insbesondere ist dieser gemeinsame Schwerpunkt der Mittelpunkt der zumindest zwei ringförmigen Abschnitte. In Rahmen der verfahrensbedingten Genauigkeit besitzen konzentrische ringförmige Abschnitte aufgrund ihrer Anordnung zueinander den gleichen Abstand voneinander.

Der Radien der bestrahlten konzentrischen ringförmigen Abschnitte können so gewählt werden, dass sich die durch den Ätzprozess entstehenden Strukturen auf der Halbleiteroberfläche nicht berühren. Dabei kann es beim Ätzprozess zu einer zusätzlichen zufälligen und unkontrollierten Aufrauung der Halbleiteroberfläche in den unbestrahlten Abschnitten kommen. Alternativ können die Radien der bestrahlten konzentrischen ringförmigen Abschnitte so gewählt werden, dass sich die durch den Ätzprozess entstehenden Strukturen auf der Halbleiteroberfläche berühren. Dadurch kann die zufällige und unkontrollierte Aufrauung zumindest verringert werden. Beispielsweise können sich konzentrische ringförmige Strukturen auf der Halbleiteroberfläche als optische Linse eignen.

Gemäß eines Aspekts des Verfahrens wird eine punktuelle Bestrahlung der Halbleiteroberfläche mit dem Elektronenstrahl durchgeführt. Bei einer punktuellen Bestrahlung der Halbleiteroberfläche wird der Elektronenstrahl nicht über die Halbleiteroberfläche geführt, sondern ein Abschnitt der Halbleiteroberfläche, der der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche entspricht, wird bestrahlt. Mit anderen Worten wird also ein kreisförmiger Abschnitt der Halbleiteroberfläche mit dem Durchmesser des Elektronenstrahls bestrahlt. Danach wird der

Elektronenstrahl abgestellt oder der Strahlengang blockiert, sodass keine Elektronen auf die Halbleiteroberfläche auftreffen können. Anschließend kann ein anderer Abschnitt der Halbleiteroberfläche in gleicher Weise bestrahlt werden.

Bei einer punktuellen Bestrahlung der Halbleiteroberfläche kann durch den nachfolgenden Ätzprozess im bestrahlten Abschnitt eine Struktur entstehen, die pyramidenförmig ausgebildet und gegenüber der zufälligen Aufrauung der Halbleiteroberfläche stärker hervorgehoben sein kann. Insbesondere kann die pyramidenförmige Struktur eine abgeflachte Spitze oder Deckfläche besitzen, die aufgespalten und/oder aufgeraut sein kann. Um eine zufällige und unkontrollierte Aufrauung der Halbleiteroberfläche zu vermindern, können eine Vielzahl an kreisförmigen Abschnitten der Halbleiteroberfläche punktuell bestrahlt werden. Beispielsweise kann eine Vielzahl an kreisförmigen Abschnitten mit gleichmäßigen Abständen voneinander punktuell bestrahlt werden. Alternativ oder zusätzlich kann eine Vielzahl an kreisförmigen Abschnitten mit quasiregelmäßigen Abständen voneinander punktuell bestrahlt werden. Unter quasiregelmäßigen Abständen sei hier und im Folgenden eine randomisierte Verschiebung der einzelnen Punkte eines an sich regelmäßigen Punktmuster zu verstehen. Die quasiregelmäßige Anordnung von Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche ist in der PCT/EP2018/073625 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Beispielsweise können die Abstände zwischen den bestrahlten kreisförmigen Abschnitten so gewählt werden, dass sich die durch den Ätzprozess entstehenden Strukturen auf der Halbleiteroberfläche berühren. Es kann so eine gerichtete und reproduzierbare Aufrauung und Strukturgröße erreicht werden.

Ohne Bestrahlung vor dem Aufrauen kann die zufällige materialabhängige Schwankung zu einem nicht kontrollierbaren Prozess mit zufälligen Pyramidenhöhen an zufälligen Positionen führen.

Es wird ferner ein Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche, die zumindest eine Struktur aufweist, angegeben. Die zumindest eine Struktur kann hierbei insbesondere mit einem hier beschriebenen Verfahren erzeugt werden. Das heißt, sämtliche für das Verfahren offenbarten Merkmale sind für den Halbleiterkörper offenbart und umgekehrt.

Der Halbleiterkörper umfasst zumindest eine Halbleiterschicht, die Bestandteil eines optoelektronischen Bauteils sein und einen aktiven Bereich umfassen kann, der zur Erzeugung und/oder Detektion von Strahlung dient. Die Halbleiterschicht kann epitaktisch gewachsen sein. Insbesondere kann die Halbleiterschicht einen n-leitenden Bereich, einen nominell undotierten Bereich oder einen p-leitenden Bereich aufweisen. Die Oberfläche des Halbleiterkörpers kann eine Außenfläche oder den Teil einer Außenfläche des Halbleiterkörpers umfassen. Hier und im Folgenden kann die Oberfläche des Halbleiterkörpers auch als Halbleiteroberfläche bezeichnet werden. Insbesondere kann die Halbleiteroberfläche Teil eines n-leitenden Bereichs, eines nominell undotierten Bereichs oder einer p-leitenden Bereichs der Halbleiterschicht sein. Insbesondere kann die Halbleiteroberfläche als Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche ausgebildet sein. Eine Halbleiteroberfläche, die eine Struktur aufweist, besitzt eine veränderte Topografie. Eine Struktur auf einer Halbleiteroberfläche kann beispielsweise gegenüber der

Halbleiteroberfläche in direkter Nachbarschaft der Struktur hervorgehoben sein und Bereiche der Halbleiteroberfläche, die benachbart zu ihr angeordnet sind, überragen. Beispielsweise kann die Struktur eine Erhebung bilden.

Gemäß einer Ausführungsform bestehen die zumindest eine Struktur aus einem Material der obersten Schicht der Halbleiteroberfläche. Die zumindest eine Struktur ist mit dem Material der Halbleiteroberfläche chemisch verbunden. Insbesondere kann die zumindest eine Struktur mit dem Material der Halbleiteroberfläche beispielsweise über gemischte kovalent-ionische chemische Bindungen verbunden sein.

Gemäß einer Ausführungsform ist die zumindest eine Struktur als Kurve oder Punkt ausgebildet. Die zumindest eine Struktur kann zum Beispiel eine Vielzahl von Punkten umfassen, die entlang Gitterpunkten eines regelmäßigen oder quasiregelmäßigen Gitters angeordnet sind. "Regelmäßiges Gitter" bedeutet, dass die Anordnung der Kurven oder Punkte durch eine gleichmäßige Wiederkehr oder Aufeinanderfolge der Kurven oder Punkte im Rahmen der Ausführungsgenauigkeit beschrieben werden kann. Die laterale Ausdehnung der Kurven oder Punkte entspricht zumindest der Ausdehnung des Elektronenstrahls auf der Halbleiteroberfläche. Sie kann in zumindest einer Erstreckungsrichtung größer als die Ausdehnung des Elektronenstrahls sein. Die regelmäßigen Kurven oder Punkte können gegenüber der restlichen Halbleiteroberfläche hervorgehoben sein und Bereiche der Halbleiteroberfläche, die benachbart zu ihnen angeordnet sind, überragen.

Die Strukturen besitzen Grundflächen auf der Halbleiteroberfläche und können sich mit steigender Entfernung von der Grundfläche verjüngen. Die Strukturen können eine Deckfläche besitzen, die parallel oder näherungsweise parallel zur Grundfläche angeordnet ist. Insbesondere können die Deckflächen der Strukturen kleiner als die Grundfläche der Struktur auf der Halbleiteroberfläche sein. Dadurch kann es zur Ausbildung von schrägen Grenzflächen zwischen den Deckflächen der Strukturen und der Halbleiteroberfläche kommen, beispielsweise zur Ausbildung kegel- oder pyramidenstumpfähnlicher Strukturen. Beispielsweise können sich Pyramidenflanken aufgrund der besonderen Stabilität der {10-1-1}-Flächen entwickeln.

Gemäß einer Ausführungsform ist die zumindest eine Struktur ohne eine Verwendung einer Ätzmaske nasschemisch erzeugt. „Nasschemische Erzeugung" bedeutet hierbei, dass die Halbleiteroberfläche mit einer Flüssigkeit behandelt wurde, die Strukturen auf der Halbleiteroberfläche hervorrufen kann, beispielsweise durch Abtrag von Teilen der Halbleiteroberfläche. Nasschemische Prozesse können ohne Zurückbleiben von Rückständen ablaufen. Insbesondere sind die Strukturen über anisotropes nasschemisches Ätzen erzeugt. Bei Verwendung einer Ätzmaske kann es bei anisotropen Ätzverfahren zu Unterätzungen kommen. „Erzeugung von Strukturen ohne eine Verwendung einer Ätzmaske" bedeutet, dass keine Ätzmaske, insbesondere kein Maskenmaterial, beispielsweise ein Fotolack, gezielt auf der Halbleiteroberfläche aufgetragen ist. Insbesondere weisen die Strukturen keine Unterätzungen auf. Im Gegenteil können sich die Strukturen mit steigendem Abstand von der Halbleiteroberfläche verjüngen und beispielsweise als kegel- oder pyramidenstumpfähnliche Strukturen ausgebildet sein. Die

Deckflächen der Strukturen können durch das nasschemische Ätzen zufällig aufgeraut sein. Die Aufrauungen auf den Deckflächen der Strukturen können eine geringere Größe aufweisen als die Aufrauungen auf der Halbleiteroberfläche.

Gemäß einer Ausführungsform weist eine Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers zumindest eine Struktur auf, wobei
- die zumindest eine Struktur aus einem Material der obersten Schicht der Halbleiteroberfläche besteht,
- die zumindest eine Struktur als Kurve oder Punkt ausgebildet ist, und
- die zumindest eine Struktur ohne eine Verwendung einer Ätzmaske nasschemisch erzeugt ist.

Die zumindest eine Struktur auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers dient beispielsweise dazu, eine gerichtete Lichtauskopplung hervorzurufen.

Gemäß einer Ausführungsform sind zumindest zwei Strukturen als lineare und/oder parallele Strukturen angeordnet. Parallele Strukturen sind dabei nebeneinander angeordnet und besitzen im Rahmen der ausführungsbedingten Genauigkeit an jedem Punkt den gleichen Abstand voneinander. Lineare Strukturen sind geradlinig entlang einer gemeinsamen Haupterstreckungsrichtung angeordnet. Insbesondere können die linearen und/oder parallelen Strukturen eine prismenförmige Ausdehnung mit einer näherungsweise dreieckigen Grundfläche aufweisen. Die prismenförmigen Strukturen können durch sich überlagernde, pyramidenförmige Strukturen entstehen, die eine hexagonale oder dodekagonale Grundfläche auf der Halbleiteroberfläche besitzen. Die prismenförmigen Strukturen können den Kontrast der Lichtauskopplung in seitlicher Richtung direkt positiv beeinflussen.

Die linearen und parallelen Strukturen können auf der Halbleiteroberfläche senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung so weit voneinander entfernt sein, dass sich die Strukturen auf der Halbleiteroberfläche nicht berühren. Zusätzlich zu den linearen und parallelen Strukturen können dann zufällige Aufrauungen der Halbleiteroberfläche um die und zwischen den linearen und parallelen Strukturen auftreten. Alternativ können die Abstände der linearen und parallelen Strukturen auf der Halbleiteroberfläche senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung so klein sein, dass sich die Strukturen auf der Halbleiteroberfläche berühren. Dadurch kann die zusätzliche zufällige Aufrauung zumindest verringert und die Lichtauskopplung verbessert sein.

Gemäß einer Ausführungsform sind zumindest zwei Strukturen als konzentrische ringförmige Strukturen angeordnet. Ringförmige Strukturen umfassen einen näherungsweise kreisförmigen Abschnitt. Der umfasste näherungsweise kreisförmige Abschnitt kann nicht aufgeraut, zufällig aufgeraut oder kontrolliert strukturiert sein. Beispielsweise kann der von einer ersten ringförmigen Struktur umfasste näherungsweise kreisförmige Abschnitt durch zumindest eine weitere ringförmige Struktur mit geringerem Radius kontrolliert strukturiert sein.

Konzentrische ringförmige Strukturen umfassen jeweils einen näherungsweise kreisförmigen Abschnitt, weisen voneinander verschiedene Radien auf und liegen so ineinander, dass sie einen gemeinsamen Schwerpunkt besitzen. Insbesondere ist der gemeinsame Schwerpunkt der Mittelpunkt der konzentrischen ringförmigen Strukturen. Im Rahmen der Ausführungsgenauigkeit besitzen konzentrische ringförmige Strukturen aufgrund ihrer Anordnung zueinander den gleichen Abstand voneinander.

Insbesondere können die ringförmigen Strukturen prismenförmig mit einer näherungsweise dreieckigen Grundfläche sein.

Die Abstände zwischen den konzentrischen ringförmigen Strukturen können so groß sein, dass sich die Strukturen auf der Oberfläche nicht berühren. Zusätzlich zu den konzentrischen ringförmigen Strukturen können dann zufällige Aufrauungen auf der Halbleiteroberfläche angeordnet sein. Alternativ können die Abstände der konzentrischen ringförmigen Strukturen so gewählt sein, dass sich die Strukturen auf der Halbleiteroberfläche berühren. Dadurch kann die zufällige Aufrauung zumindest verringert sein. Beispielsweise eignen sich konzentrische ringförmige Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche als optische Linse.

Gemäß einer Ausführungsform ist eine Vielzahl an Strukturen entlang eines regelmäßigen oder quasiregelmäßigen Gitters angeordnet und die Strukturen bestehen aus einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen. Diese pyramidenförmigen Strukturen weisen nicht zwingend eine hexagonale Struktur auf, vielmehr kann ihre Grundfläche auf der Halbleiteroberfläche einem beliebigen Vieleck entsprechen. Insbesondere kann das Vieleck symmetrisch ausgebildet sein und/oder die pyramidenförmigen Strukturen gerade sein. Insbesondere können die pyramidenförmigen Strukturen eine abgeflachte Spitze oder Deckfläche besitzen, die aufgespalten und/oder aufgeraut sein kann.

Ein regelmäßiges Gitter ist durch eine gleichmäßige Wiederkehr von Strukturen gekennzeichnet. Das regelmäßige Gitter weist zumindest zwei Erstreckungsrichtungen auf, die senkrecht zueinander sind. Dabei können die Abstände der einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen in den

beiden Erstreckungsrichtungen voneinander verschieden sein. Innerhalb einer Erstreckungsrichtung können die Abstände der einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen gleich sein. Alternativ können die Abstände der einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen quasiregelmäßig sein. Die einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen können sich auf der Halbleiteroberfläche berühren.

Gemäß einer Ausführungsform umfassen oder bilden die Strukturen eine individuelle Kennung auf der Halbleiteroberfläche. Dabei kann es sich um eine Kennung, beispielsweise mit Zahlen und/oder Buchstaben und/oder Symbolen und/oder maschinenlesbaren Kennzeichnungen handeln, die zum Beispiel optisch über mikroskopische Methoden ausgelesen werden kann. Beispielsweise können alle Chips eines Waferverbunds mit individueller Kennung markiert werden. Dadurch kann im fertigen Produkt im Falle eines Qualitätsproblems die Herkunft des Chips zurückverfolgt und möglicherweise weitere betroffene Chips identifiziert werden.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche und dem Halbleiterkörper ergeben sich aus den folgenden, in Zusammenhang mit den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen.

Die Figuren 1A bis 1D zeigen eine schematische Darstellung des Verfahrens zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche gemäß einer Ausführungsform,

die Figuren 2A und 2B zeigen eine schematische Darstellung paralleler Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform,

die Figuren 3A und 3B zeigen eine schematische Darstellung ringförmiger Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform,

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung pyramidenförmiger Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform,

die Figuren 5A-5E und 6 zeigen Rasterelektronenmikroskopie-(REM)-Aufnahmen von Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß verschiedener Ausführungsformen,

die Figuren 7, 8A-8F und 9A-9G zeigen REM-Aufnahmen von linearen und parallelen Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß verschiedener Ausführungsformen,

die Figur 8G zeigt eine REM-Aufnahme einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform,

Figur 10 zeigt eine REM-Aufnahme einer ringförmigen Struktur auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform, und

die Figuren 11A-11H, 12, 13 und 14A-C zeigen REM-Aufnahmen von pyramidenförmigen Strukturen auf einer Halbleiteroberfläche eines Halbleiterkörpers gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die

Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente untereinander sind nicht als maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente zur besseren Darstellbarkeit und/oder für eine bessere Verständlichkeit übertrieben groß dargestellt sein.

Bei dem Verfahren gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figuren 1A bis 1D wird zunächst eine Halbleiterschicht 1 mit einer Halbleiteroberfläche 2 bereitgestellt. Die Halbleiterschicht 1 kann epitaktisch gewachsen sein und einen III/V-Halbleiter, beispielsweise einen Nitrid-Halbleiter wie GaN, umfassen oder daraus bestehen. Sie kann Bestandteil eines optoelektronischen Bauteils sein und einen aktiven Bereich umfassen, der zur Erzeugung und/oder Detektion von Strahlung dient. Die Halbleiteroberfläche 2 ist durch die freiliegende Außenfläche oder einen Teil der freiliegenden Außenfläche der Halbleiterschicht 1 gebildet. Die Halbleiteroberfläche 2 kann insbesondere einen n-leitenden Bereich, einen nominell undotierten Bereich oder einen p-leitenden Bereich aufweisen und als Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsfläche ausgebildet sein. Diese Anordnung ist schematisch in Figur 1A gezeigt.

In Figur 1B ist schematisch das Bestrahlen der Halbleiteroberfläche 2 mit einem Elektronenstrahl 3 gezeigt. Die Bestrahlung der Halbleiteroberfläche 2 erzeugt einen bestrahlten Abschnitt 4. Der bestrahlte Abschnitt 4 umfasst zumindest die Fläche, die der Ausdehnung des Elektronenstrahls 3 entspricht. Abschnitte, die nicht vom Elektronenstrahl 3 bestrahlt werden, sind unbestrahlte Abschnitte 5.

In Figur 1C ist das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 gezeigt. Dazu wird die Oberfläche 2 mit einer ätzenden Flüssigkeit 6, beispielsweise einer Lauge, in direkten Kontakt gebracht.

Figur 1D zeigt die Halbleiterschicht 1 nach Bestrahlung der Halbleiteroberfläche 2 mit dem Elektronenstrahl 3 und Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 mit einer ätzenden Flüssigkeit 6. Die Ätzrate ist im bestrahlten Abschnitt 4 deutlich geringer als in den unbestrahlten Abschnitten 5. Es entsteht dadurch eine Struktur 7, die sich von der zufälligen Aufrauung der Halbleiteroberfläche 2 durch eine stärkere Hervorhebung gegenüber den unbestrahlten Abschnitten 5, die stärker geätzt wurden, unterscheidet.

Die Figuren 2A und 2B zeigen eine schematische Darstellung paralleler Strukturen 8 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die parallelen Strukturen 8 besitzen eine gemeinsame Haupterstreckungsrichtung. Die parallelen Strukturen 8 sind in Haupterstreckungsrichtung linear ausgebildet und so angeordnet, dass sich die prismenförmigen linearen und parallelen Strukturen 8 auf der Halbleiteroberfläche 2 berühren (Figur 2A).

Die Figuren 3A und 3B zeigen eine schematische Darstellung ringförmiger Strukturen 9 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die ringförmigen Strukturen 9 sind konzentrisch angeordnet und besitzen verschiedene Radien und einen gemeinsamen Schwerpunkt, der dem Mittelpunkt der ringförmigen Strukturen 9 entspricht.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung pyramidenförmiger Strukturen 10 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die pyramidenförmigen Strukturen 10 weisen ein Vieleck, insbesondere einem symmetrischen Vieleck, als Grundfläche auf. Beispielsweise können die pyramidenförmigen Strukturen 10 eine hexagonale oder dodekagonale Grundfläche aufweisen. Insbesondere kann das Ätzen mit einer Lauge wie KOH, TMAH oder NH_3 zu pyramidenförmigen Strukturen 10 mit einer hexagonale Grundfläche und das Ätzen mit einer Säure wie H_3PO_4 zu pyramidenförmigen Strukturen 10 mit einer dodekagonalen Grundfläche führen. Die pyramidenförmigen Strukturen 10 sind entlang eines regelmäßigen Gitters angeordnet, das zumindest zwei Erstreckungsrichtungen besitzt. Insbesondere sind die Erstreckungsrichtungen senkrecht zueinander angeordnet. Die Abstände der pyramidenförmigen Strukturen 10 können innerhalb einer Erstreckungsrichtung gleich sein. Die Abstände pyramidenförmigen Strukturen 10 innerhalb verschiedener Erstreckungsrichtungen können voneinander verschieden sein. Insbesondere können die pyramidenförmigen Strukturen 10 innerhalb des Gitters quasiregelmäßig angeordnet sein.

Die Figuren 5A bis 5E zeigen Rasterelektronenmikroskopie-(REM)-Aufnahmen von bestrahlten Abschnitten 4, unbestrahlten Abschnitten 5 und einer Struktur 7 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die Halbleiteroberfläche 2 wurde für 6 Minuten in 30 Gew.-% KOH bei 80 °C geätzt.

Die Figuren 5A und 5B zeigen eine Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers und Figur 5C eine Vergrößerung der Figur 5A. Die Halbleiteroberfläche 2 wurde vor dem Ätzen

teilweise mit einem Elektronenstrahl 3 bestrahlt. Im bestrahlten Abschnitt 4 lässt sich eine geringere Aufrauung der Halbleiteroberfläche 2 sowie eine lineare Struktur 7 erkennen.

Figur 5D zeigt die Vergrößerung des bestrahlten Abschnitts 4 der GaN-Halbleiteroberfläche 2 aus Figur 5A. In dieser Figur ist eine Be- und Entschleunigung des Elektronenstrahls 3 während der Bestrahlung visualisiert. Der Elektronenstrahl 3 bewegte sich dabei von der linken Kante auf einer horizontalen Linie zur rechten Kante des bestrahlten Abschnitts 4. Die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls 3 nahm bei der Bewegung auf der horizontalen Linie zunächst zu und verringerte sich vor Erreichen der rechten Kante des bestrahlten Abschnitts 4 wieder. Auf den Punkten an der linken Kante des bestrahlten Abschnitts 4 verblieb der Elektronenstrahl 3 kurzzeitig in Ruhe, um das aufgenommene Emissionssignal abzuspeichern. Je langsamer der Elektronenstrahl 3 über die Halbleiteroberfläche 2 bewegt wurde, desto geringere Pyramidengrößen lassen sich auf der Halbleiteroberfläche 2 beobachten. Die in Figur 5E vergrößert dargestellte lineare Struktur 7 an der linken Kante des bestrahlten Abschnitts 4 entsteht aus einem besonders geringen Abtrag der Halbleiteroberfläche 2 an dem Ort der Halbleiteroberfläche 2, an dem sich der Elektronenstrahl 3 kurzzeitig in Ruhe befand.

In Figur 6 ist eine REM-Aufnahme von Strukturen 7 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform gezeigt. Die Bestrahlung der bestrahlten Abschnitte 4 der Halbleiteroberfläche 2 wurde mit einer Energie des Elektronenstrahls 3 von 8 keV und einer Bestrahlungsdauer von 100 ms pro Pixel durchgeführt. Der

nachfolgende Ätzprozess umfasst das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 Minuten in 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. Die Strukturen 7 besitzen die Form von Kreisen (oben) oder eines Kreisringsektors (unten).

Figur 7 zeigt eine REM-Aufnahme von linearen und parallelen Strukturen 8 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die Bestrahlung der linearen und parallelen Abschnitte 4 der Halbleiteroberfläche 2 wurde einer Bestrahlungsdauer von 100 ms pro Pixel durchgeführt. Pro linearem Anschnitt wurden 100 Pixel auf 15 µm Länge bestrahlt. Der nachfolgende Ätzprozess umfasst das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 Minuten in 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. Die linearen und parallelen Strukturen 8 besitzen eine gemeinsame horizontale Haupterstreckungsrichtung. Die Abstände der linearen und parallelen Strukturen 8 senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung betragen 1,5 µm, wodurch sie sich bei einer Ätztiefe von ungefähr 3 µm aufgrund der Winkel der Seitenflanken der entstehenden Pyramiden von 61° auf der Halbleiteroberfläche 2 berühren. Es lässt sich eine verringerte zufällige Aufrauung der Halbleiteroberfläche 2 in und zwischen den bestrahlten Abschnitte 4 erkennen. Bei einer dünneren Halbleiterschicht können kleinere Ätztiefen und kleinere Abstände zwischen den Pyramiden sinnvoll sein.

Die Figuren 8A bis 8F zeigen REM-Aufnahmen von linearen und parallelen Strukturen 8 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die Bestrahlung der linearen und parallelen Abschnitte 4 wurde mit 100 ms pro Pixel und mit verschiedenen Elektronenenergien durchgeführt. In Figur 8A wurde eine Elektronenenergie von 5 keV, in Figur 8B von 8 keV, in Figur 8C von 10 keV und in

Figur 8D von 12 keV verwendet. Der nachfolgende Ätzprozess umfasste das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 Minuten in 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. Die REM-Aufnahmen zeigen, dass die Elektronenenergie die Ausbildung der linearen und parallelen Strukturen 8 nicht beeinflusst.

In den Figuren 8E und 8F sind REM-Aufnahmen der Proben aus den Figuren 8C und 8B gezeigt, die über eine In-lens-Detektion aufgenommen wurden. Die dunklen Kontraste bei dieser Detektionsart deuten auf ein Material mit geringer Leitfähigkeit hin, das auf dem GaN der linearen und parallelen Strukturen 8 und der Halbleiteroberfläche 2 abgelagert ist. Möglicherweise kann es bei der Strukturierung der Halbleiteroberfläche zu Ablagerung von organischem Material auf der Oberfläche kommen. Der Ursprung dieser Ablagerungen ist nicht bekannt. Beispielsweise kann es sich bei diesem Material um Kohlenstoff handeln.

Die Figur 8G zeigt eine REM-Aufnahme einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers direkt nach Bestrahlen eines Punktmusters. Die Bestrahlung der bestrahlten Abschnitte 4 erfolgte mit einer Elektronenenergie von 8 keV und einer Bestrahlungsdauer von 5 Sekunden pro Pixel. Es zeigen sich weiße Kontraste in den bestrahlten Abschnitten 4. Dies kann ein Hinweis auf einen elektronischen Effekt sein, der die Leitfähigkeit oder Ladung des Materials verändert. Beispielsweise kann die Bestrahlung mit dem Elektronenstrahl zu einer Aktivierung von passivierten Punktdefekten der Halbleiterschicht führen. Insbesondere zeigt die Figur 8G, dass vor dem Ätzen keine Ablagerungen auf der Halbleiteroberfläche 2 vorhanden sind. Die in den Figuren 8E und 8F gezeigten Ablagerungen, die nach dem Ätzen

beobachtet wurden, müssen daher während oder nach dem Ätzprozess entstanden sein.

Die Figuren 9A bis 9G zeigen REM-Aufnahmen von linearen und parallelen Strukturen 8 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die Bestrahlung der linearen und parallelen Abschnitte 4 erfolgte mit einer Elektronenenergie von 8 keV und einer Bestrahlungsdauer von 100 ms pro Pixel. Der nachfolgende Ätzprozess wurde mit 30 Gew.-% KOH bei 80 °C durchgeführt und die Ätzdauer variiert. Die Halbleiteroberfläche 2 wurde in Figur 9A für 1 min, in Figur 9B für 2 min, in Figur 9C für 3 min, in Figur 9D für 4 min, in Figur 9E für 5 min, in Figur 9F für 6 min und in Figur 9G für 7 min geätzt. In allen Figuren sind die linearen und parallelen Strukturen 8 klar zu erkennen und entsprechen in etwa der bevorzugten Zielrauigkeit in der produktiven Anwendung. Eine Erhöhung der Ätzdauer führt zu einer verstärkten zufälligen Aufrauung der Halbleiteroberfläche 2 in den unbestrahlten Abschnitten 5.

Figur 10 zeigt eine REM-Aufnahme einer ringförmigen Struktur 9 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die Bestrahlung des ringförmigen Abschnitts 4 erfolgte mit einer Elektronenenergie von 8 keV und einer Bestrahlungsdauer von 100 ms pro Pixel. Der nachfolgende Ätzprozess umfasste das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 min mit 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. Die ringförmige Struktur 9 besitzt näherungsweise die Form eines Kreisrings.

Bei Erzeugung von konzentrischen ringförmigen Strukturen 9 kann das gesamte Kreismuster einen Radius von 500 µm bei einem Chipdurchmesser von 1 mm aufweisen. Insbesondere

sollten sich die ringförmigen Strukturen 9 auf der Halbleiteroberfläche 2 berühren. Bei einer Ätztiefe von ungefähr 3,5 µm kann dann ein Abstand von 2 µm sinnvoll sein. Andernfalls befinden sich zwischen den ringförmigen Strukturen 9 Abschnitte mit einer zufälligen Aufrauung.

Die Figuren 11A bis 11H zeigen REM-Aufnahmen von pyramidenförmigen Strukturen 10 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die punktuelle Bestrahlung von kreisförmigen Abschnitten 4 mit der Ausdehnung des Elektronenstrahls 3 auf der Halbleiteroberfläche 2 erfolgte entlang eines regelmäßigen Gitters mit 5x5 Abschnitten mit einer Elektronenenergie von 8 keV und die Bestrahlungsdauer pro Pixel wurde variiert. Der nachfolgende Ätzprozess umfasste das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 min mit 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. Figur 11A zeigt eine Übersichtsaufnahme der pyramidenförmigen Strukturen 10 mit Bestrahlungsdauer von 2 s (unten rechts), 3 s (unten links), 4 s (oben rechts) und 5 s (oben links). Die pyramidenförmigen Strukturen 10 sind entlang regelmäßiger 5x5-Gitter angeordnet. Die Figuren 11B bis 11H zeigen Vergrößerungen der bestrahlten Gitter (linke und untere Begrenzung jeweils markiert) mit unterschiedlichen Bestrahlungsdauern. Die Bestrahlungsdauer betrug in Figur 11B 0,1 s, in Figur 11C 1 s, in Figur 11D 2 s, in Figur 11E 3 s, in Figur 11F 4 s, in Figur 11G 5 s und in Figur 11H 10 s. Ab einer Bestrahlungsdauer von 0,1 s sind die pyramidenförmigen Strukturen 10 zu erkennen, deren Ausprägung mit steigender Bestrahlungsdauer zunimmt.

Figur 12 zeigt eine REM-Aufnahme einer Vergrößerung einer pyramidenförmigen Struktur 10 aus Figur 11G. Die

pyramidenförmige Struktur 10 weist eine aufgespaltene und fein aufgeraute Spitze auf. Insbesondere ist die Spitze der pyramidenförmigen Struktur 10 ca. 400 nm Durchmesser breit. Somit lässt sich eine größere Deckfläche der pyramidenförmigen Struktur 10 als die Fläche des bestrahlten kreisförmigen Abschnitts mit einem Durchmesser von 20 nm beobachten.

Figur 13 zeigt eine REM-Aufnahme von pyramidenförmigen Strukturen 10 auf einer Halbleiteroberfläche 2 eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die punktuelle Bestrahlung von kreisförmigen Abschnitts 4 erfolgte mit einer Elektronenenergie von 8 keV und einer Bestrahlungsdauer von 100 ms pro Pixel. Der Abstand zwischen den Linien beträgt 1.5 µm. Die Länge der Linien beträgt 45 µm mit 100 Pixeln auf die gesamte Länge. Der nachfolgende Ätzprozess umfasste das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 6 min mit 30 Gew.-% KOH bei 80 °C. In horizontaler Erstreckungsrichtung berühren sich die einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen auf der Halbleiteroberfläche 2, wohingegen sie in vertikaler Erstreckungsrichtung einen Abstand zueinander aufweisen.

Die Figuren 14 A-C zeigen REM-Aufnahmen von pyramidenförmigen Strukturen 10 auf einer Halbleiteroberfläche eines GaN-Halbleiterkörpers gemäß einer Ausführungsform. Die punktuelle Bestrahlung von 6x6 kreisförmigen Abschnitten 4 mit Abständen von 1,5 µm erfolgte mit einer Bestrahlungsdauer von 10 s pro Pixel und 8 keV Elektronenenergie. Der nachfolgende Ätzprozess umfasste das Ätzen der Halbleiteroberfläche 2 für 5 min mit 85 Gew.-% H_3PO_4 bei 150 °C. Figur 14A zeigt, dass nahezu der gesamte Halbleiter weggeätzt wurde. Die Vergrößerungen in Figur 14B und 14C zeigen, dass an den

bestrahlten Stellen pyramidenförmige Strukturen 10 vorhanden sind.

Potentielle Anwendung kann dieses Verfahren bei der Separierung einzelner Halbleiterchips finden. Durch gezielte Belichtung können Oberflächenstrukturen wie Justiermarken erzeugt werden, die beim Ätzprozess weniger angegriffen werden als das Halbleitermaterial der unbestrahlten Abschnitte.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2019 106 964.5, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Bezugszeichenliste

1	Halbleiterschicht
2	Halbleiteroberfläche
3	Elektronenstrahl
4	bestrahlter Abschnitt der Halbleiteroberfläche
5	unbestrahlter Abschnitt der Halbleiteroberfläche
6	ätzende Flüssigkeit
7	Struktur
8	lineare und parallele Strukturen
9	ringförmige Struktur
10	pyramidenförmige Struktur

Patentansprüche

1. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen der Halbleiteroberfläche (2), wobei die Halbleiteroberfläche (2) Teil einer Halbleiterschicht (1) ist,
- Bestrahlen der Halbleiteroberfläche (2) mit einem Elektronenstrahl (3) zur Erzeugung eines bestrahlten Abschnitts (4),
- nasschemisches Ätzen der Halbleiteroberfläche (2), wobei
- eine Ätzrate im bestrahlten Abschnitt (4) kleiner ist als in einem unbestrahlten Abschnitt (5) der Halbleiteroberfläche (2), wobei vor dem nasschemischen Ätzen keine Ätzmaske auf die Halbleiteroberfläche (2) aufgebracht wird.

2. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Halbleiterschicht (1) einen III/V-Halbleiter umfasst.

3. Verfahren zur Strukturierung der Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei die Halbleiterschicht (1) einen Nitrid-Halbleiter umfasst.

4. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei die Energie des Elektronenstrahls (3) zwischen einschließlich 1 keV und einschließlich 200 keV beträgt.

5. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei die

Bestrahlungsdauer der Halbleiteroberfläche (2) mit dem Elektronenstrahl (3) größer oder gleich 10 ms beträgt.

6. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche (2) mit einer Lauge (6) durchgeführt wird.

7. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche (2) mit KOH, NaOH, NH_3 oder TMAH durchgeführt wird.

8. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei das nasschemische Ätzen der Halbleiteroberfläche (2) mit einer Säure (6) durchgeführt wird.

9. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei eine Vielzahl an parallelen Abschnitten (4) der Halbleiteroberfläche (2) mit dem Elektronenstrahl (3) bestrahlt werden, wobei die parallelen Abschnitte (4) eine gemeinsame Haupterstreckungsrichtung besitzen.

10. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei zumindest ein ringförmiger Abschnitt (4) der Halbleiteroberfläche (2) mit dem Elektronenstrahl (3) bestrahlt wird.

11. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß dem vorhergehenden Anspruch, wobei zumindest zwei ringförmige Abschnitte (4) der Halbleiteroberfläche (2) mit

dem Elektronenstrahl (3) bestrahlt werden, wobei die Radien der bestrahlten ringförmigen Abschnitte (4) voneinander verschieden sind.

12. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß dem vorhergehenden Anspruch, wobei zumindest zwei konzentrische ringförmige Abschnitte (4) der Halbleiteroberfläche (2) mit dem Elektronenstrahl (3) bestrahlt werden.

13. Verfahren zur Strukturierung einer Halbleiteroberfläche (2) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei eine punktuelle Bestrahlung der Halbleiteroberfläche (2) mit dem Elektronenstrahl (3) durchgeführt wird.

14. Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche (2), die zumindest eine Struktur aufweist, wobei
- die zumindest eine Struktur aus einem Material der obersten Schicht der Halbleiteroberfläche (2) besteht,
- die zumindest eine Struktur entlang einer Kurve oder als Punkt ausgebildet ist, und
- die zumindest eine Struktur ohne eine Verwendung einer Ätzmaske nasschemisch erzeugt ist.

15. Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche (2), die zumindest eine Struktur aufweist, gemäß dem vorhergehenden Anspruch, wobei zumindest zwei Strukturen als lineare und/oder parallele Strukturen (8) angeordnet sind.

16. Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche (2), die zumindest eine Struktur aufweist, gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei zumindest zwei Strukturen als konzentrische ringförmige Strukturen (9) angeordnet sind.

17. Halbleiterkörper mit einer Halbleiteroberfläche (2), die zumindest eine Struktur aufweist, gemäß den vorhergehenden Ansprüchen, wobei eine Vielzahl an Strukturen entlang eines regelmäßigen oder quasiregelmäßigen Gitters angeordnet ist und die Strukturen aus einzelnen hervorgerufenen pyramidenförmigen Strukturen (10) bestehen.

FIG 1A

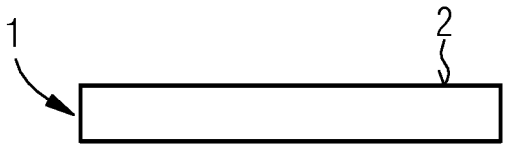


FIG 1B

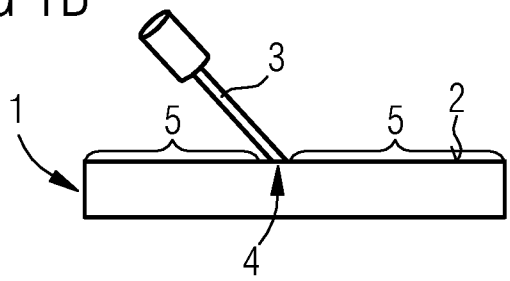


FIG 1C

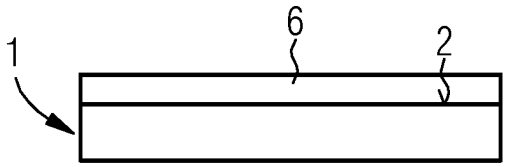


FIG 1D

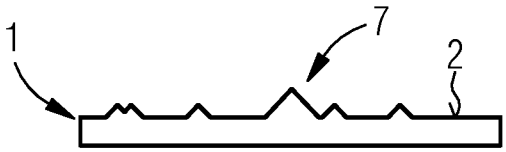


FIG 2A

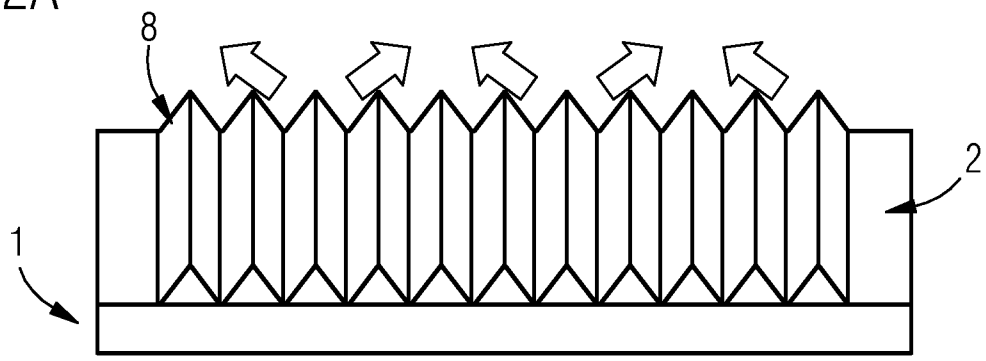


FIG 2B

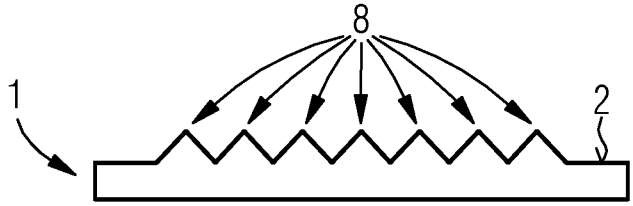


FIG 3A

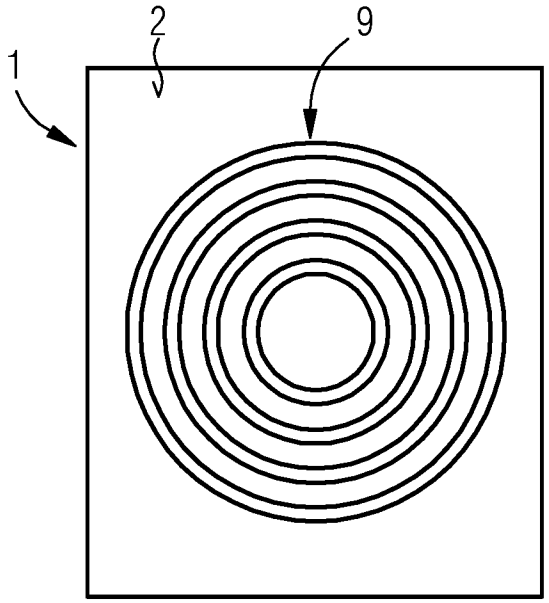


FIG 3B

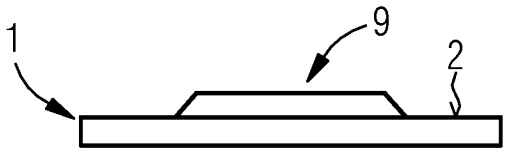


FIG 4

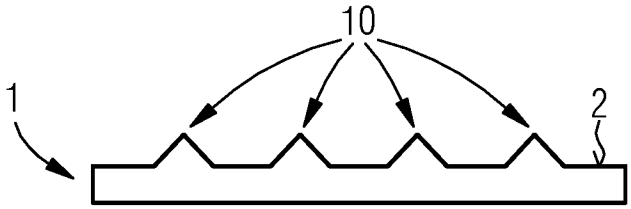


FIG 5A

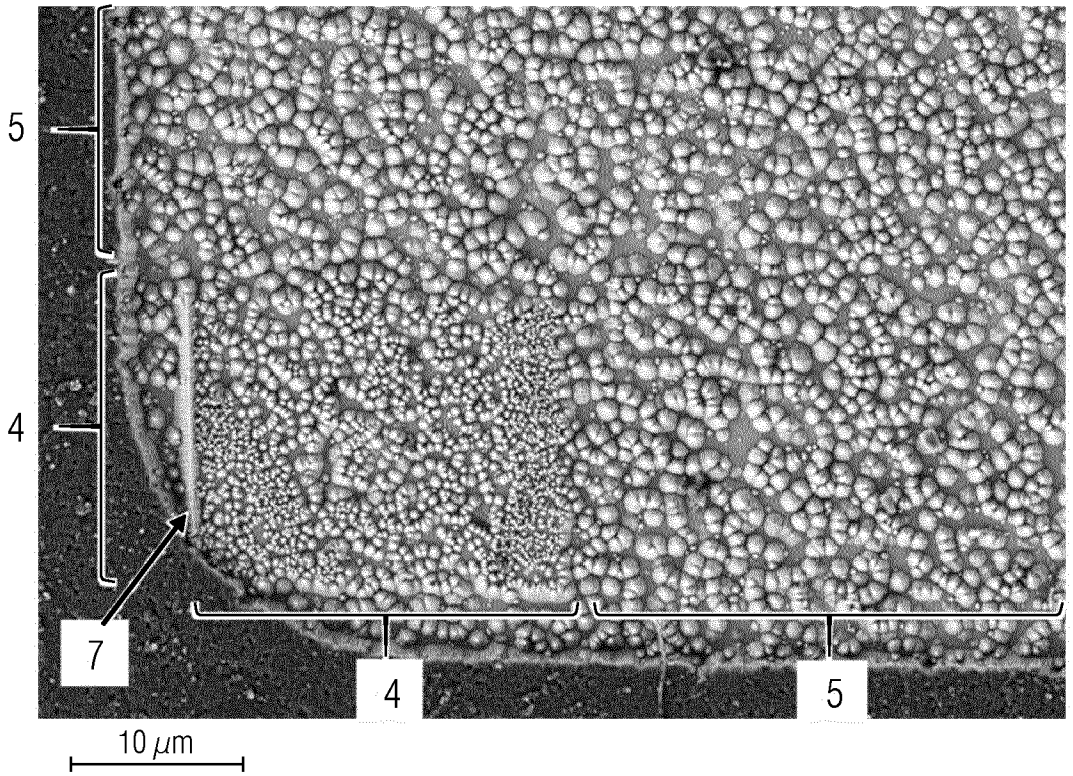


FIG 5B

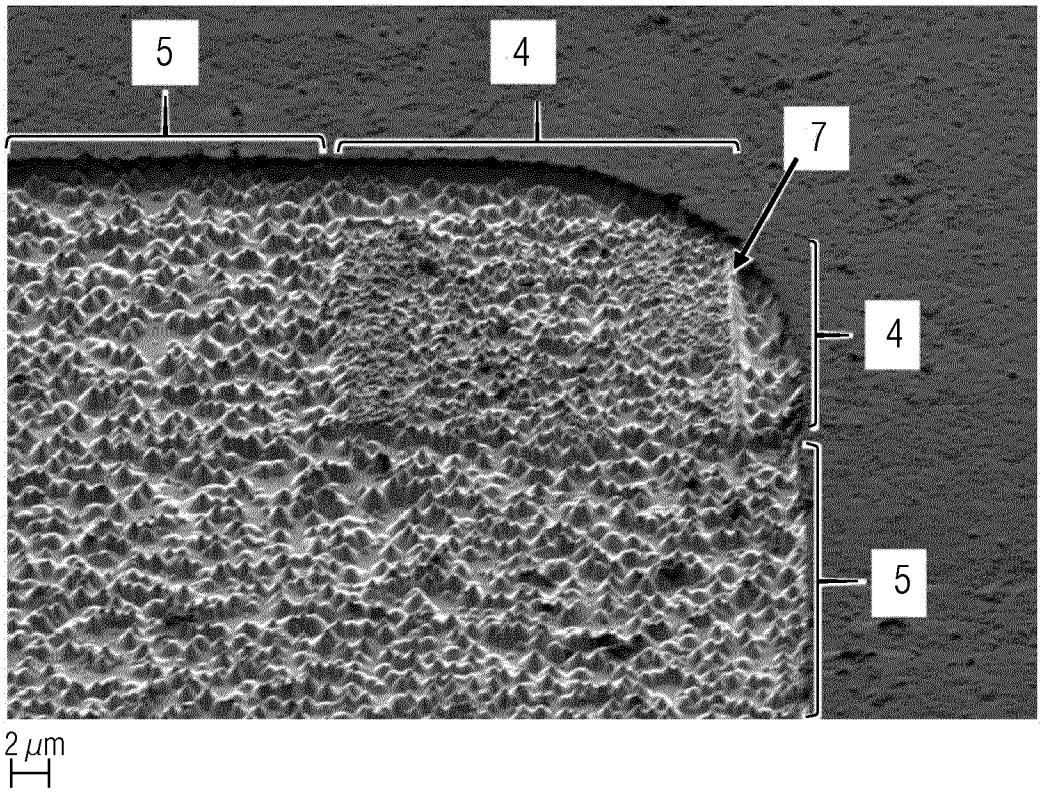


FIG 5C

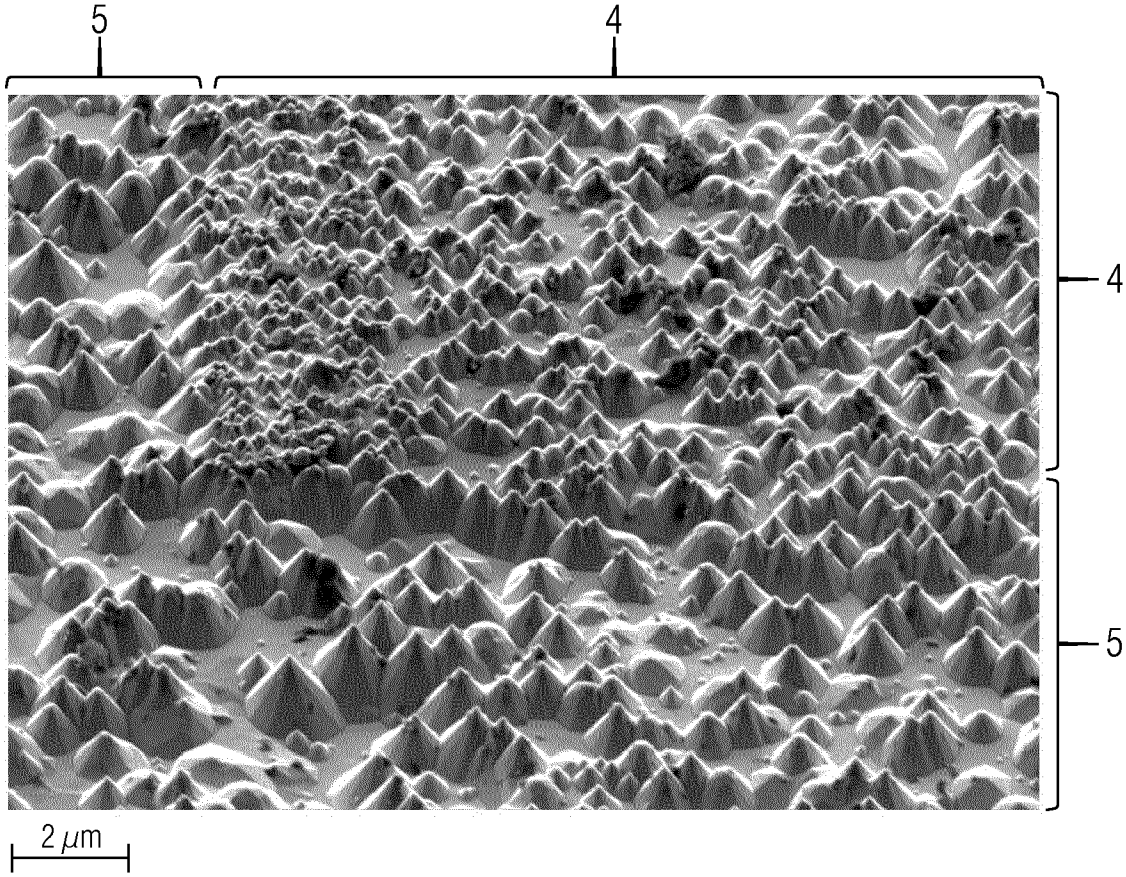


FIG 5D

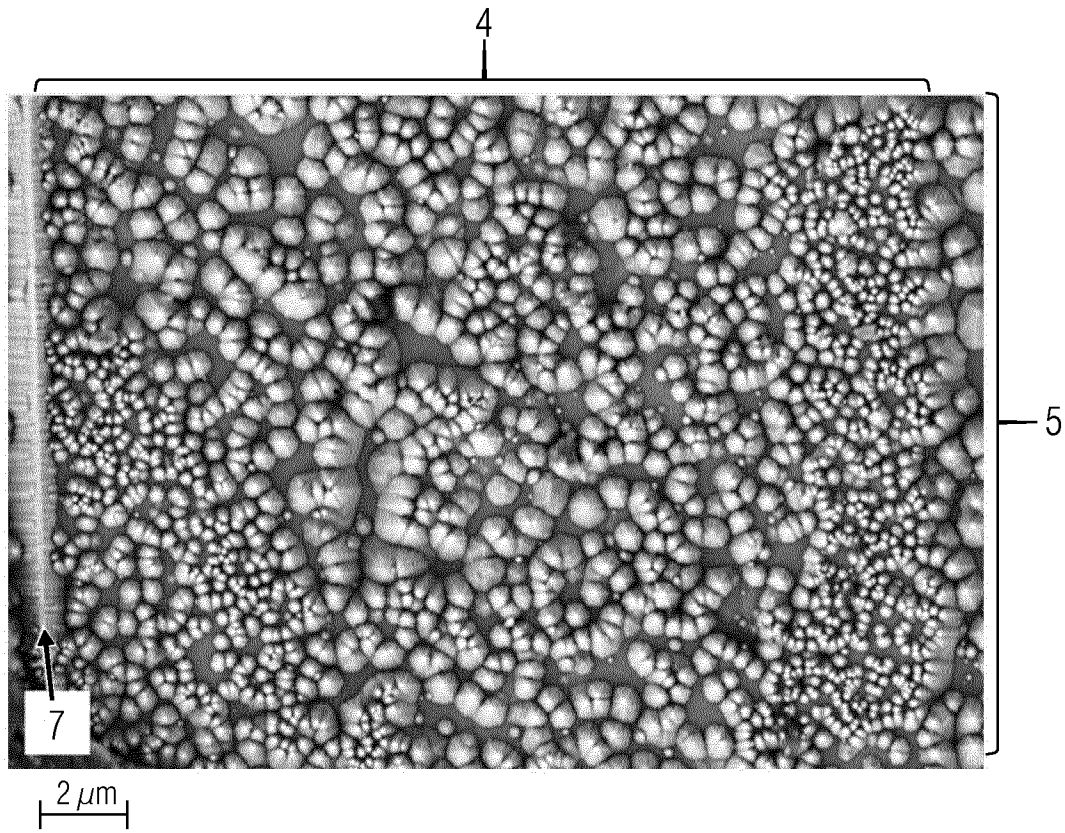


FIG 5E

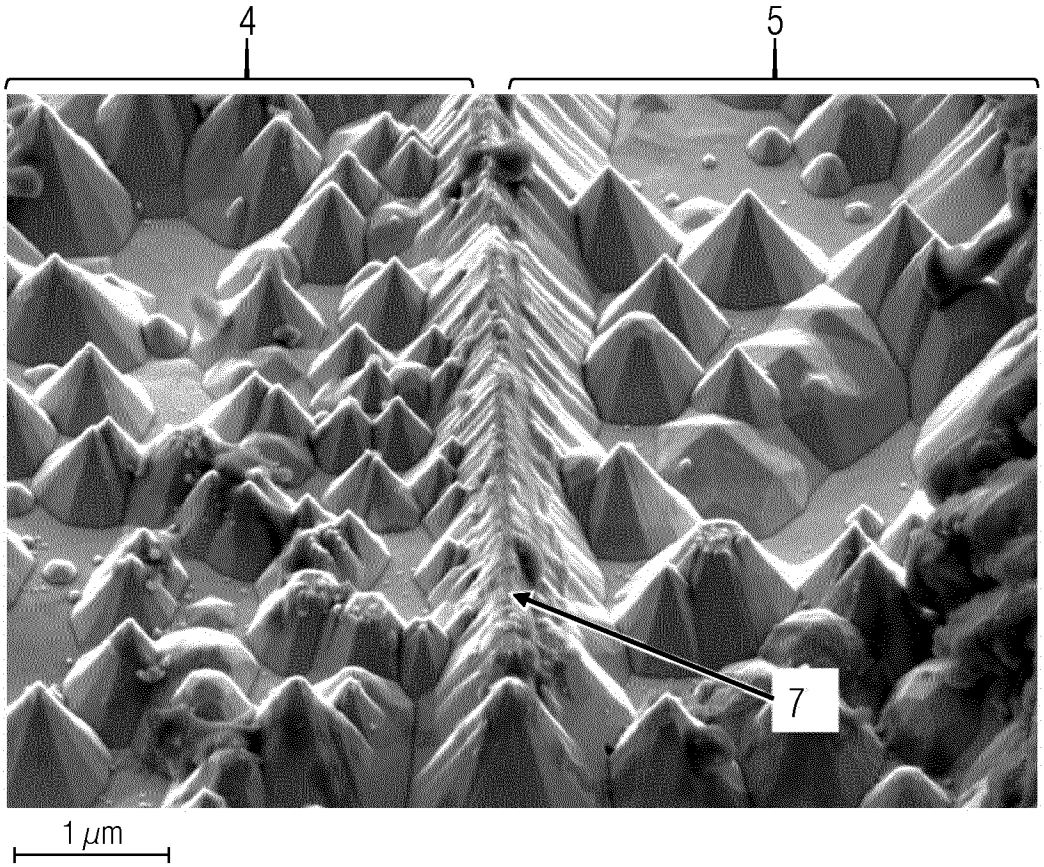


FIG 6

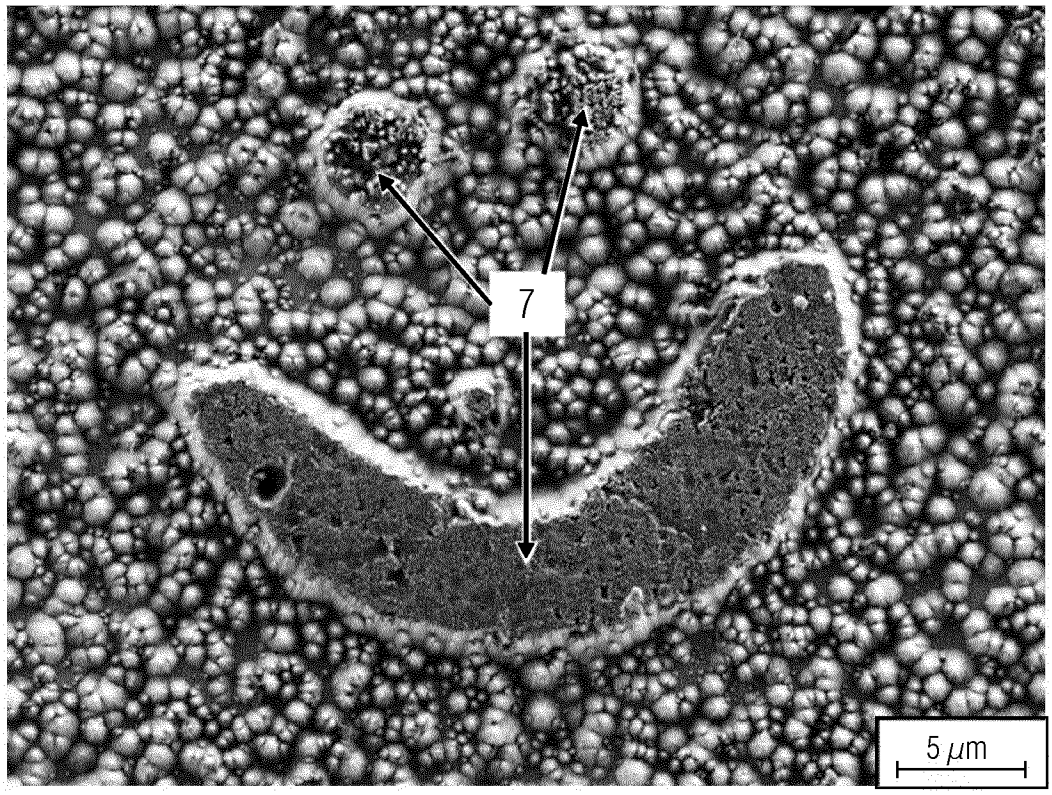


FIG 7

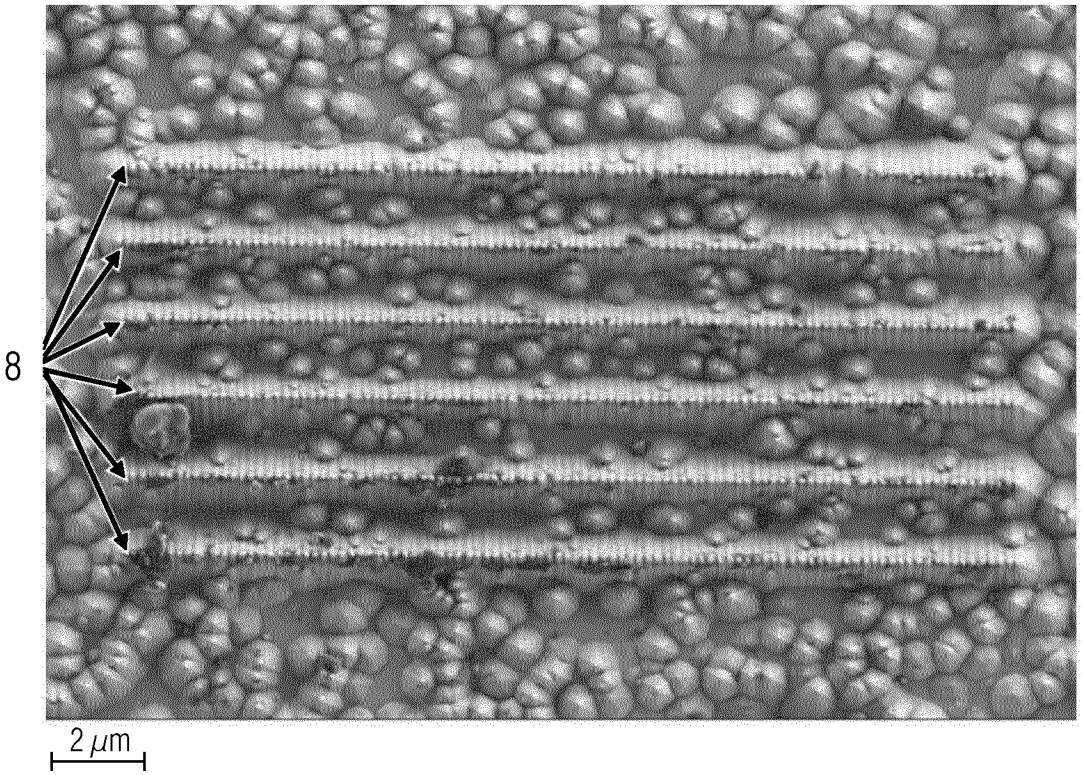


FIG 8A

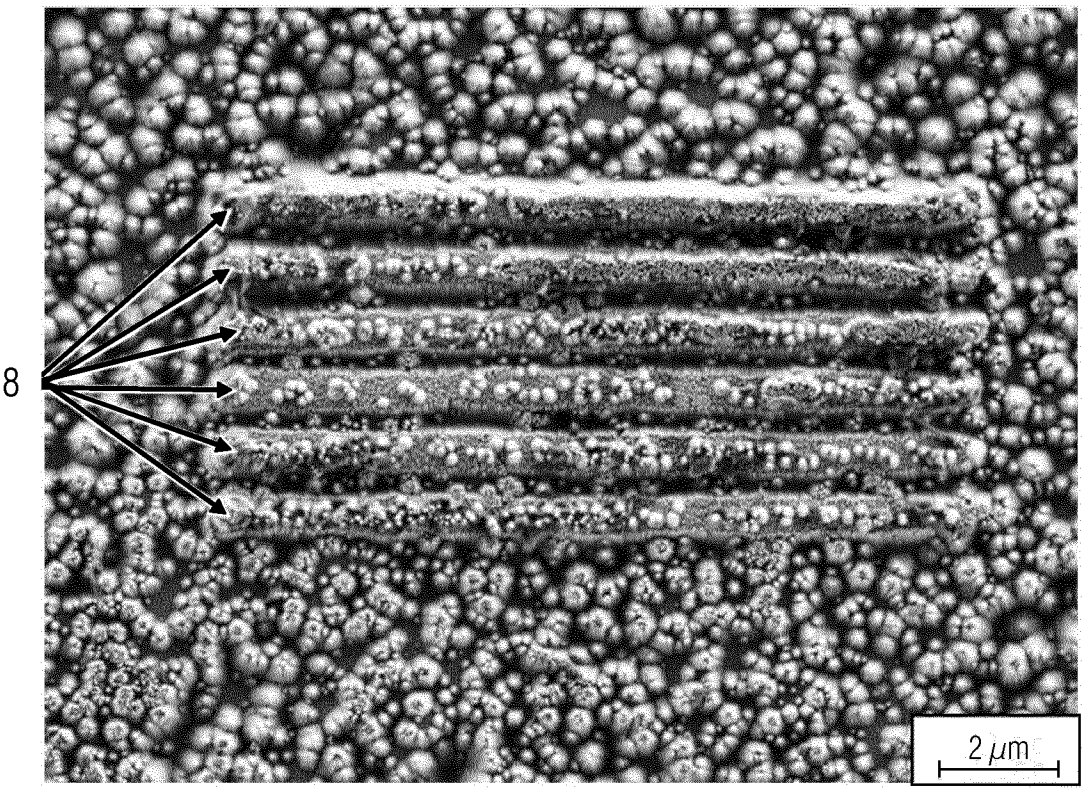


FIG 8B

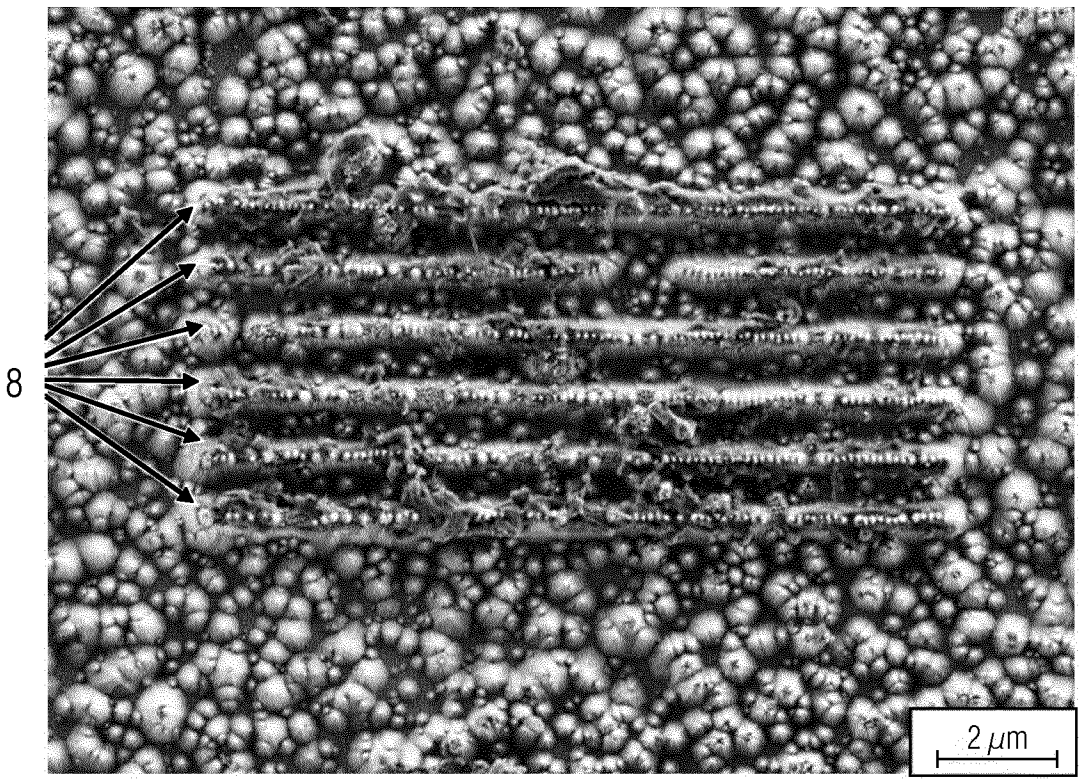


FIG 8C

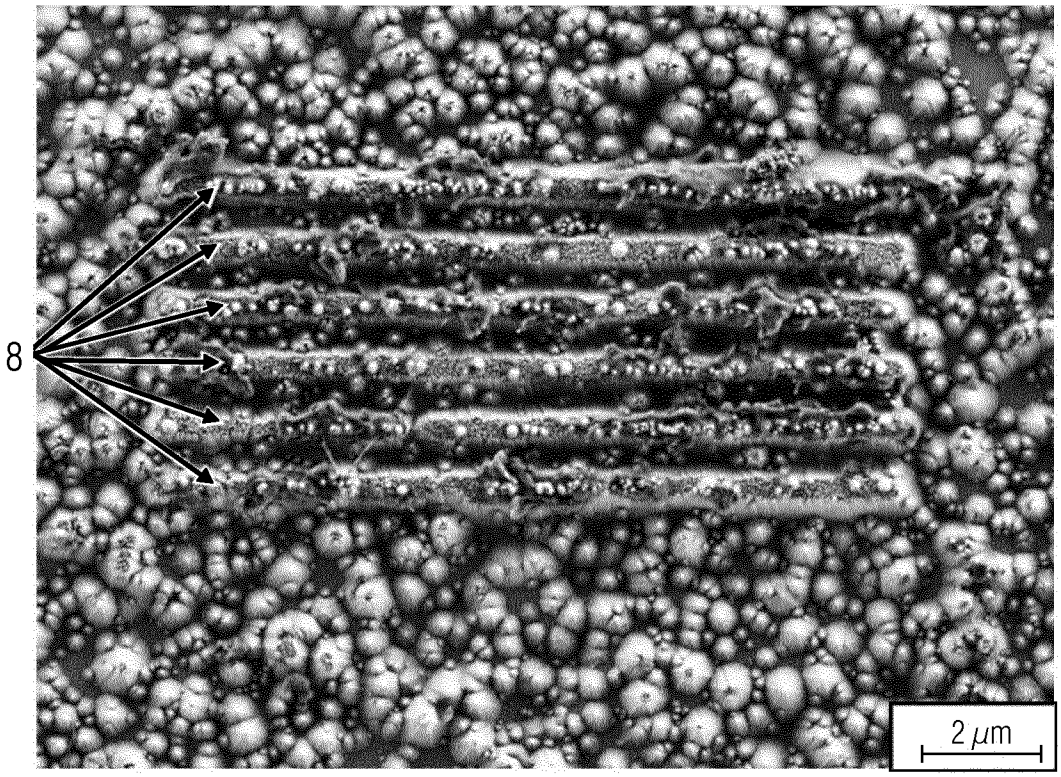


FIG 8D

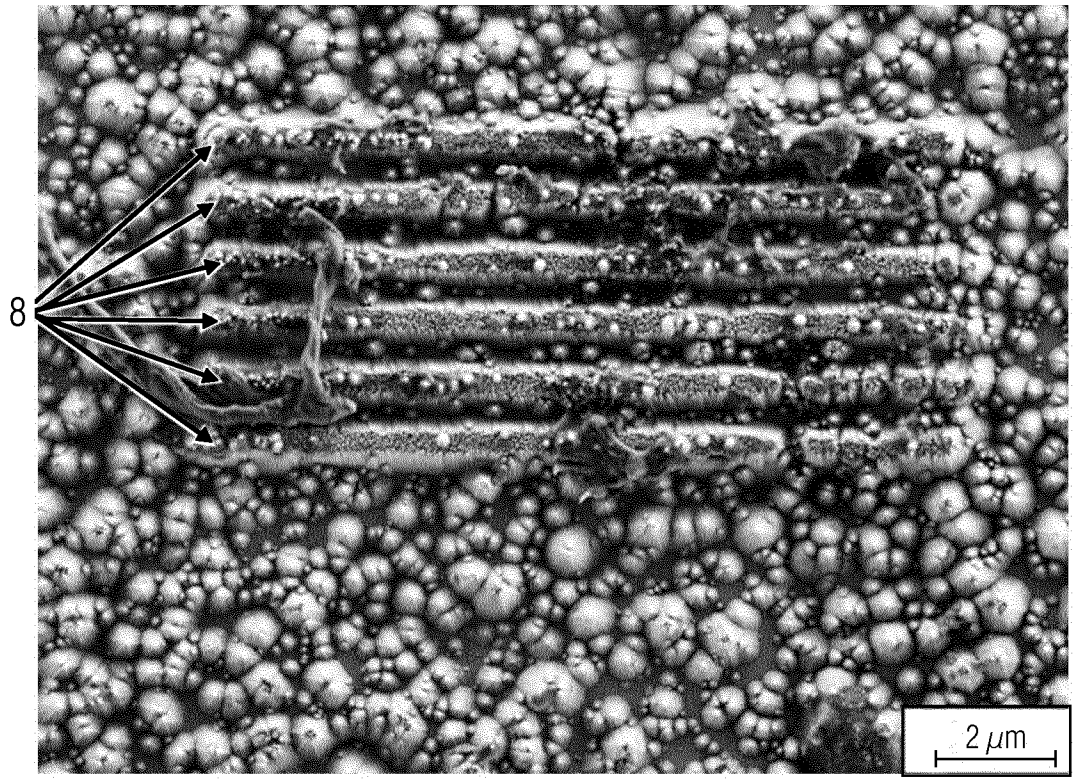


FIG 8E

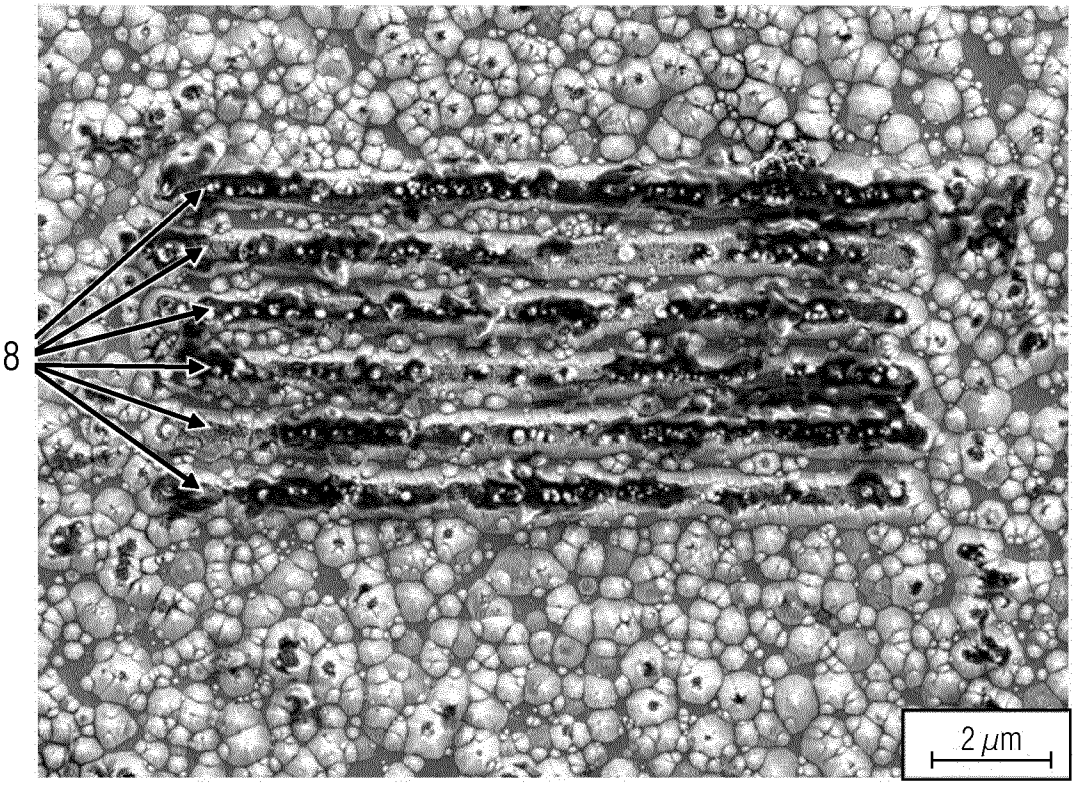


FIG 8F

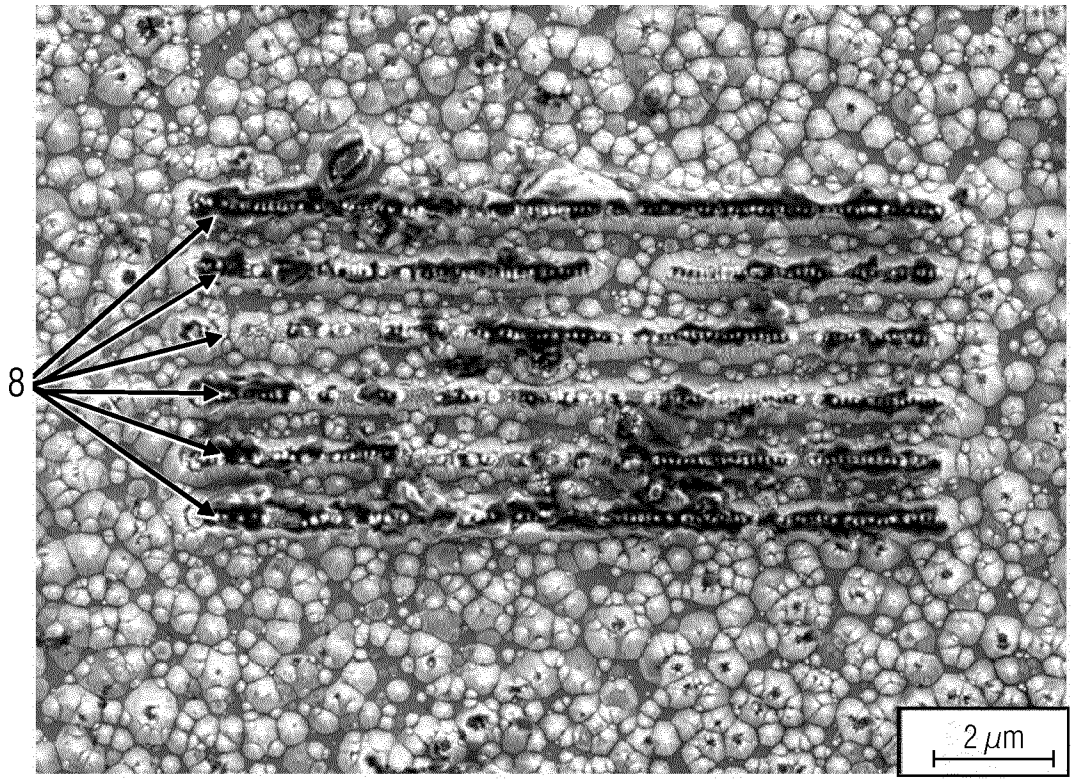


FIG 8G

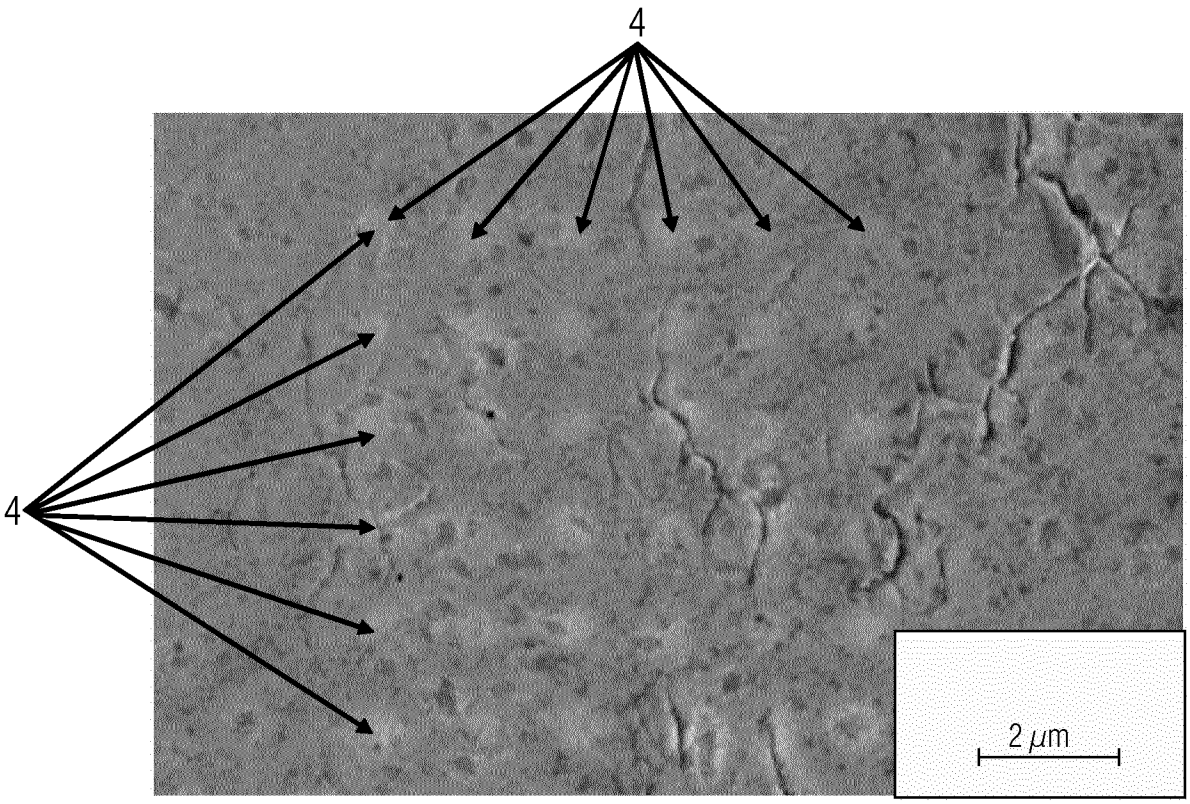


FIG 9A

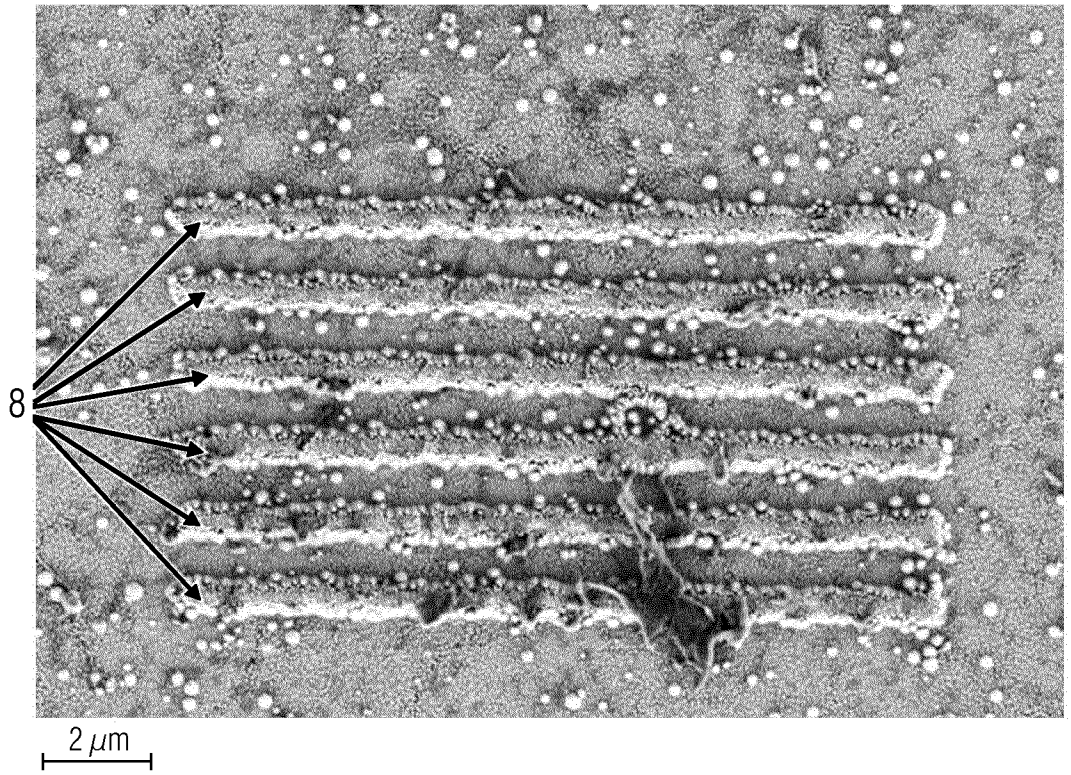


FIG 9B

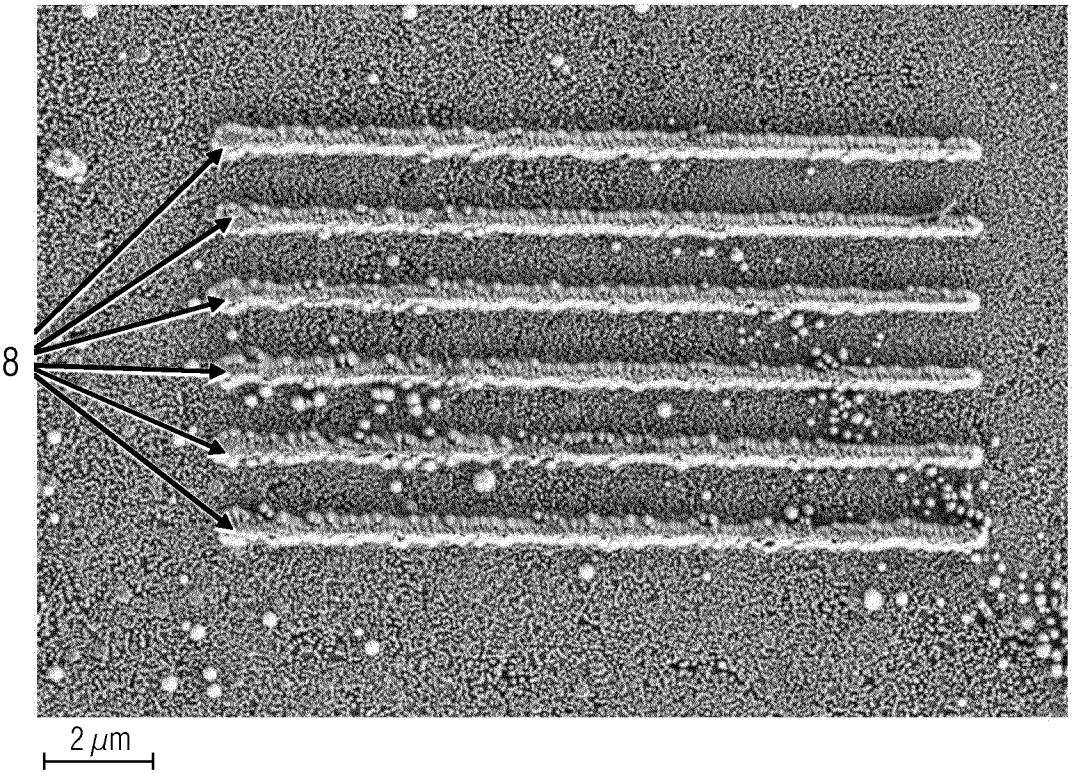


FIG 9C

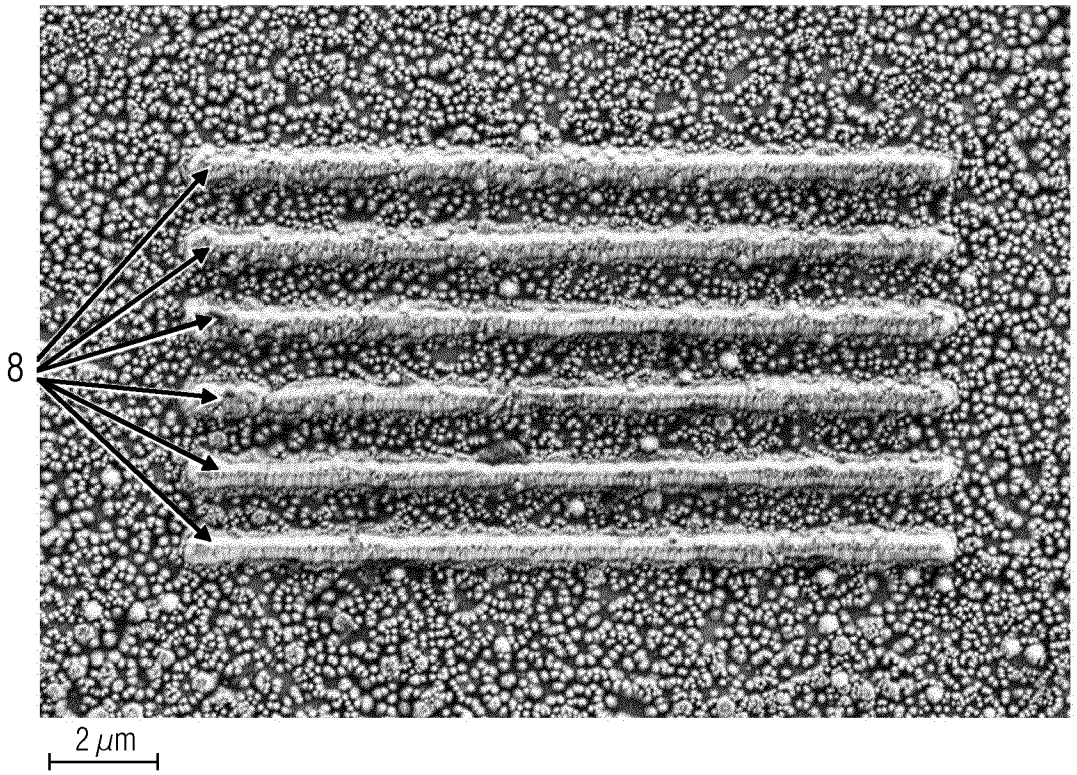


FIG 9D

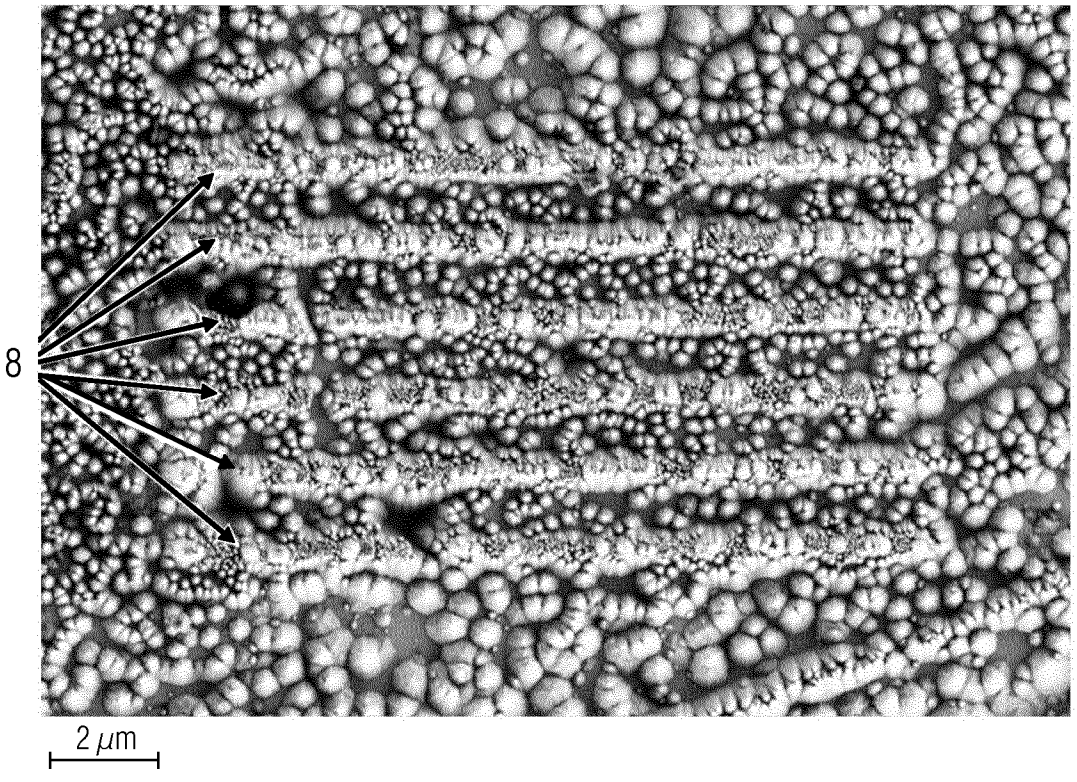


FIG 9E

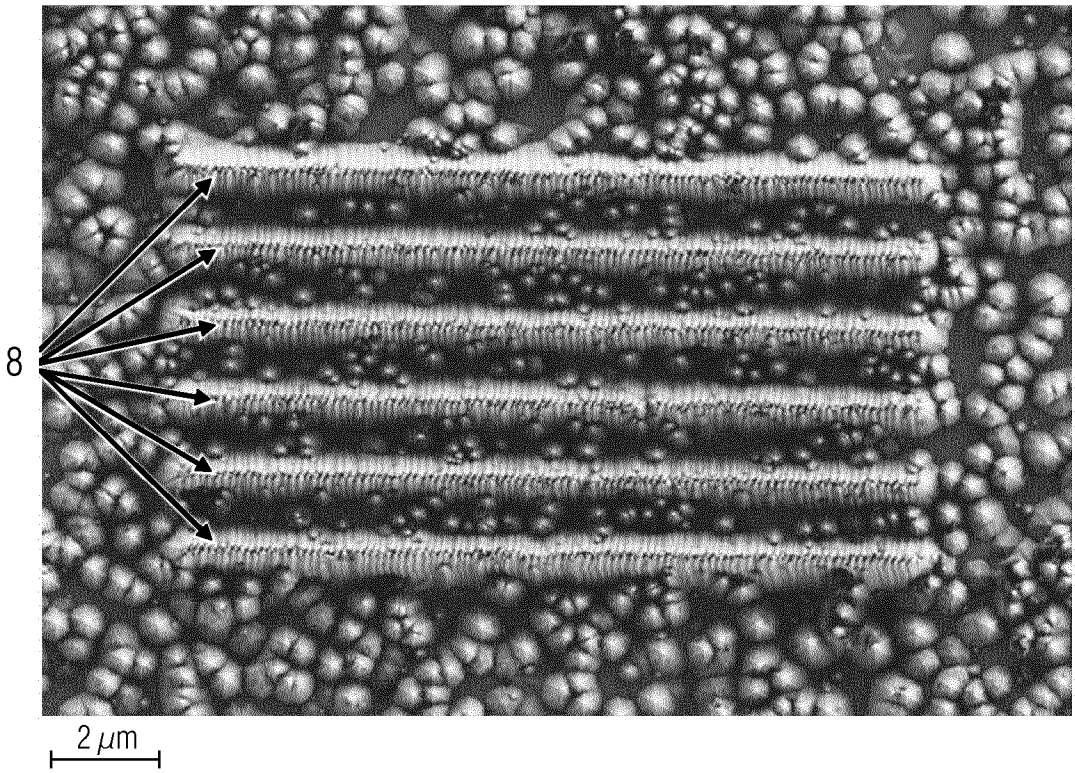


FIG 9F

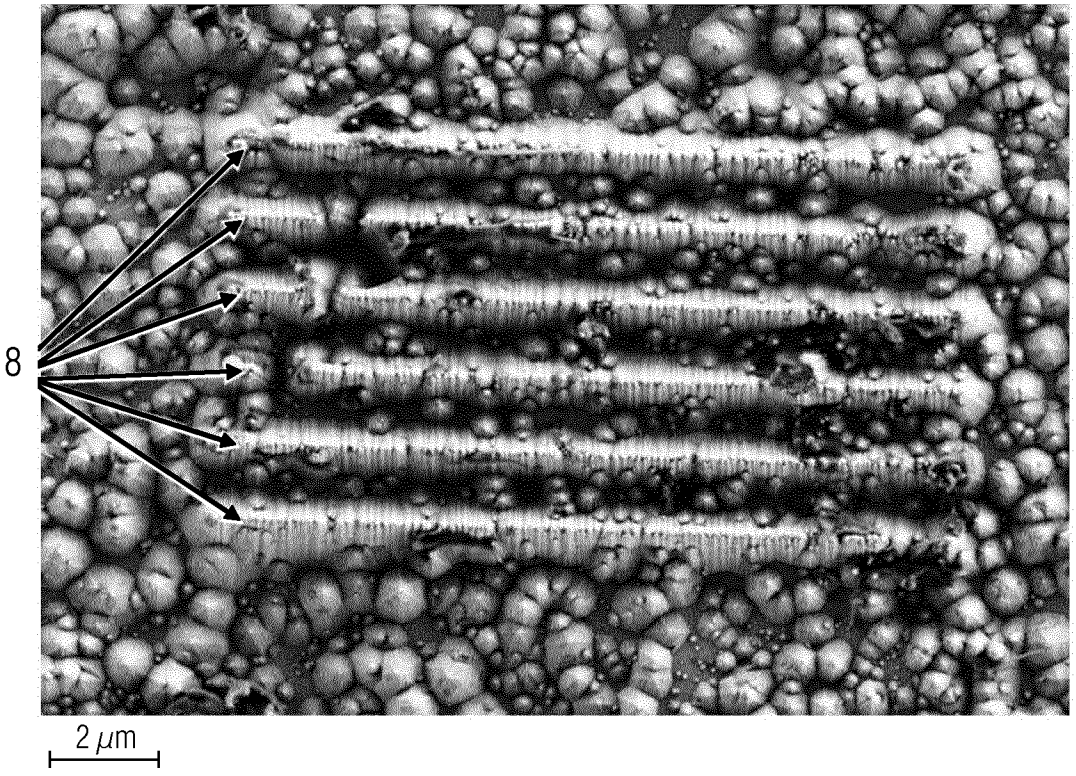


FIG 9G

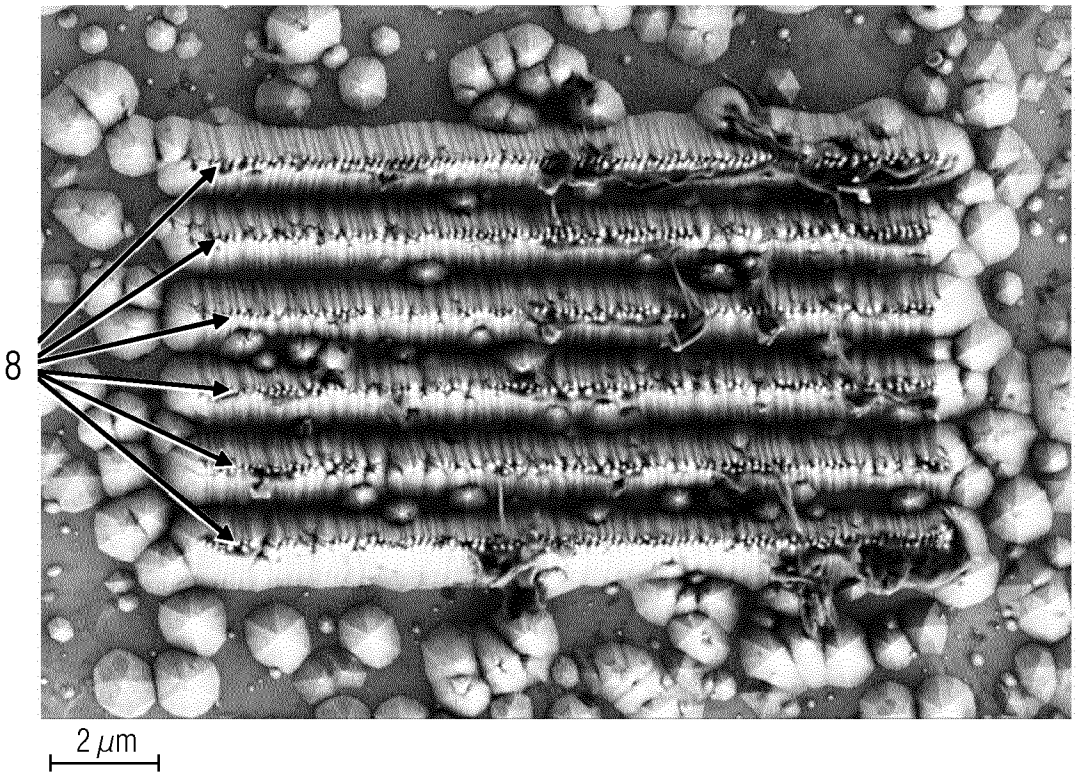


FIG 10

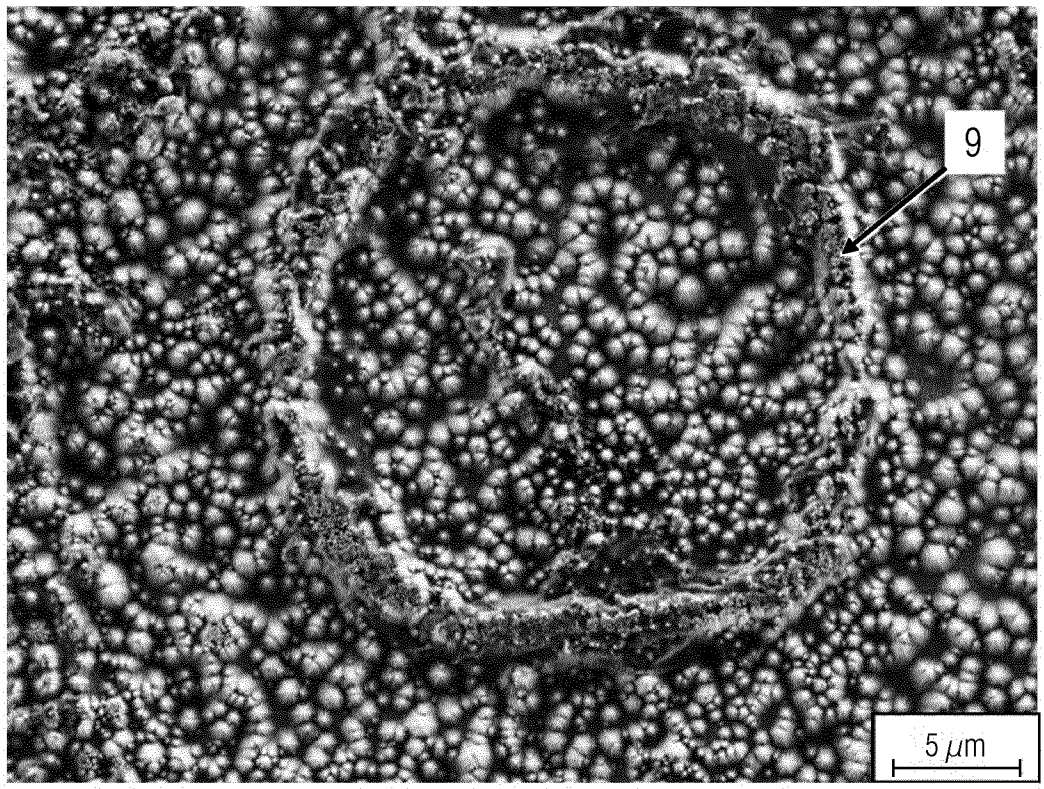


FIG 11A

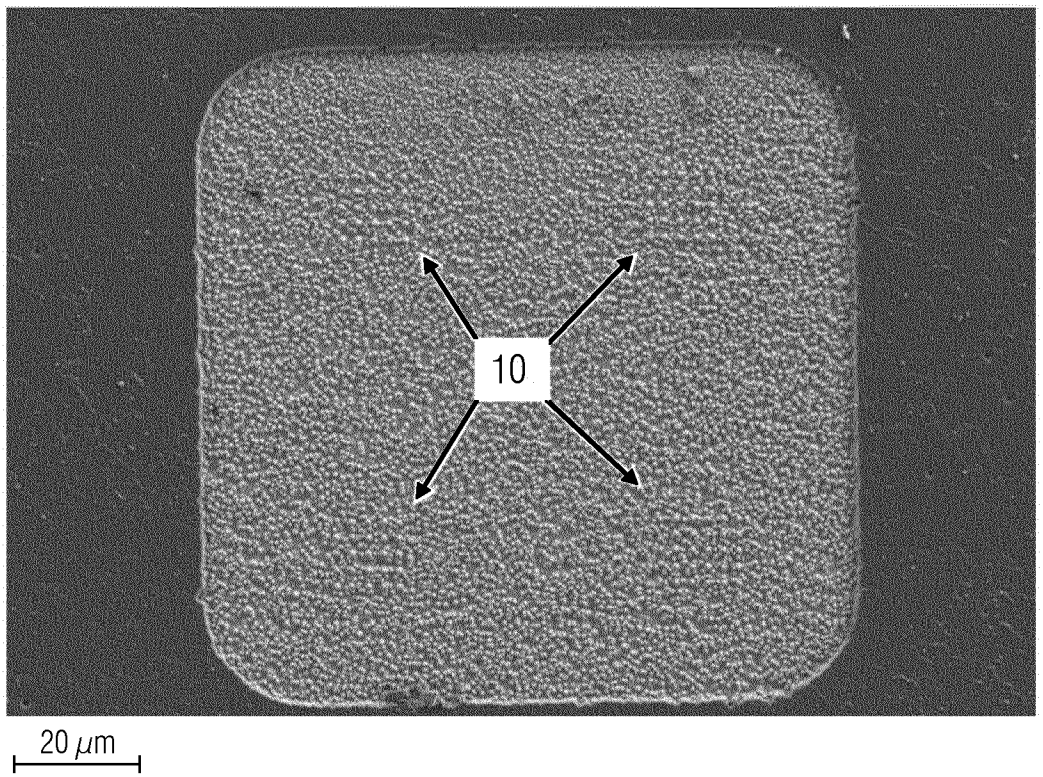


FIG 11B

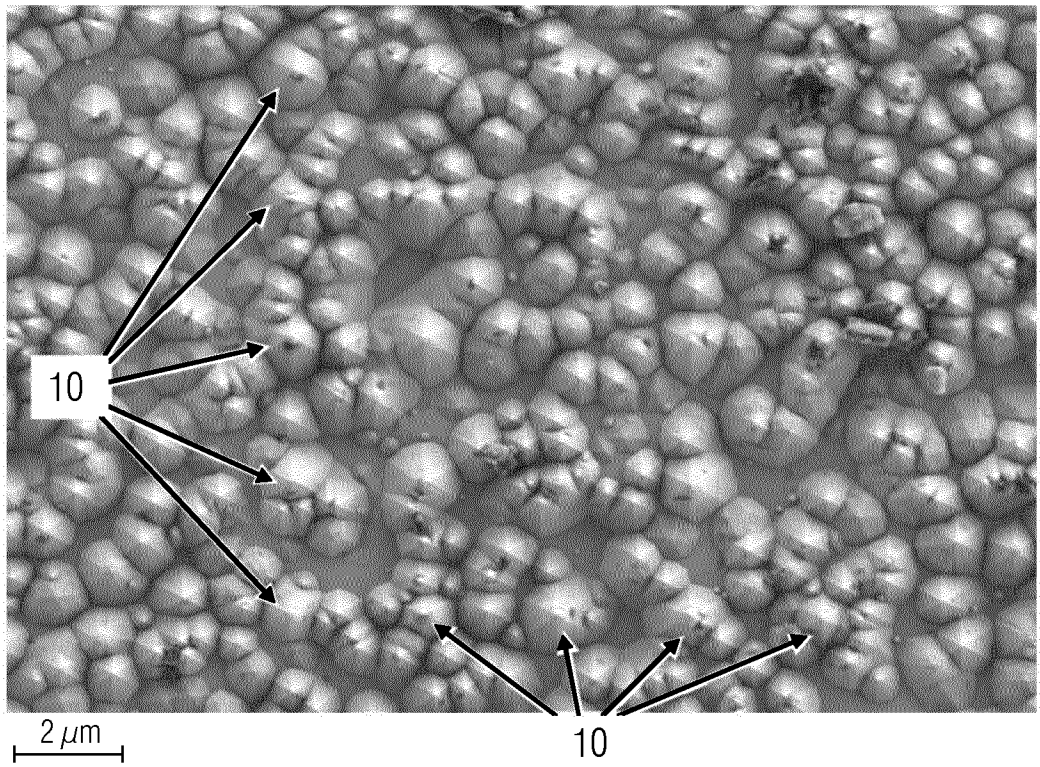


FIG 11C

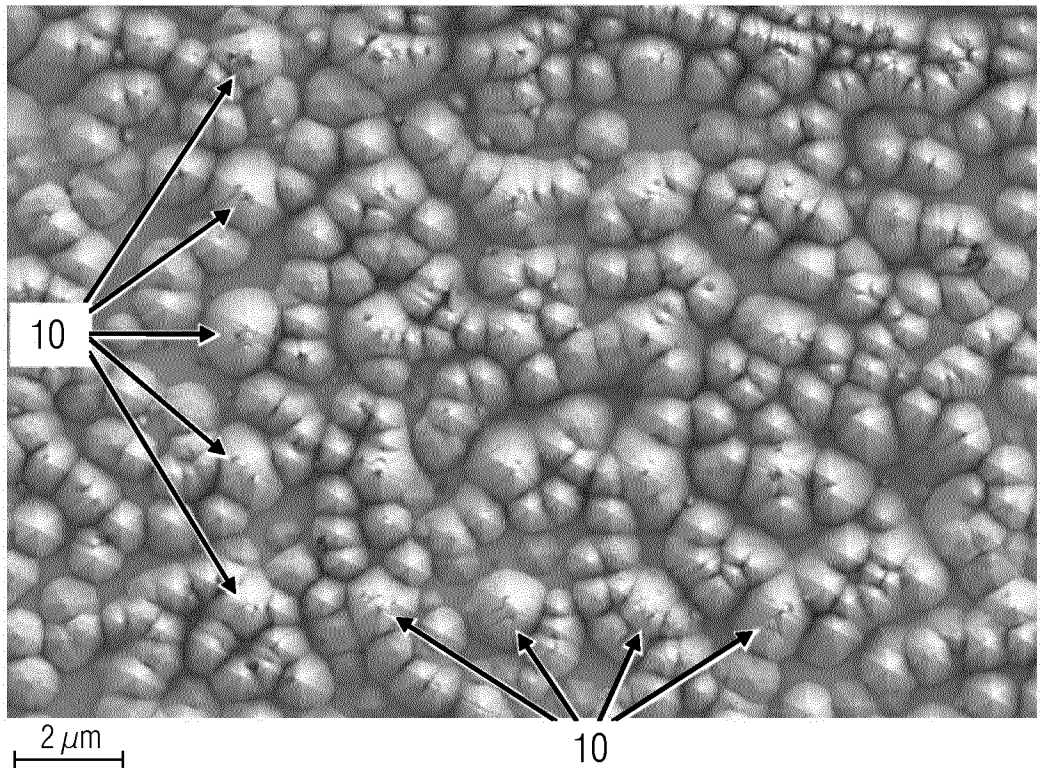


FIG 11D

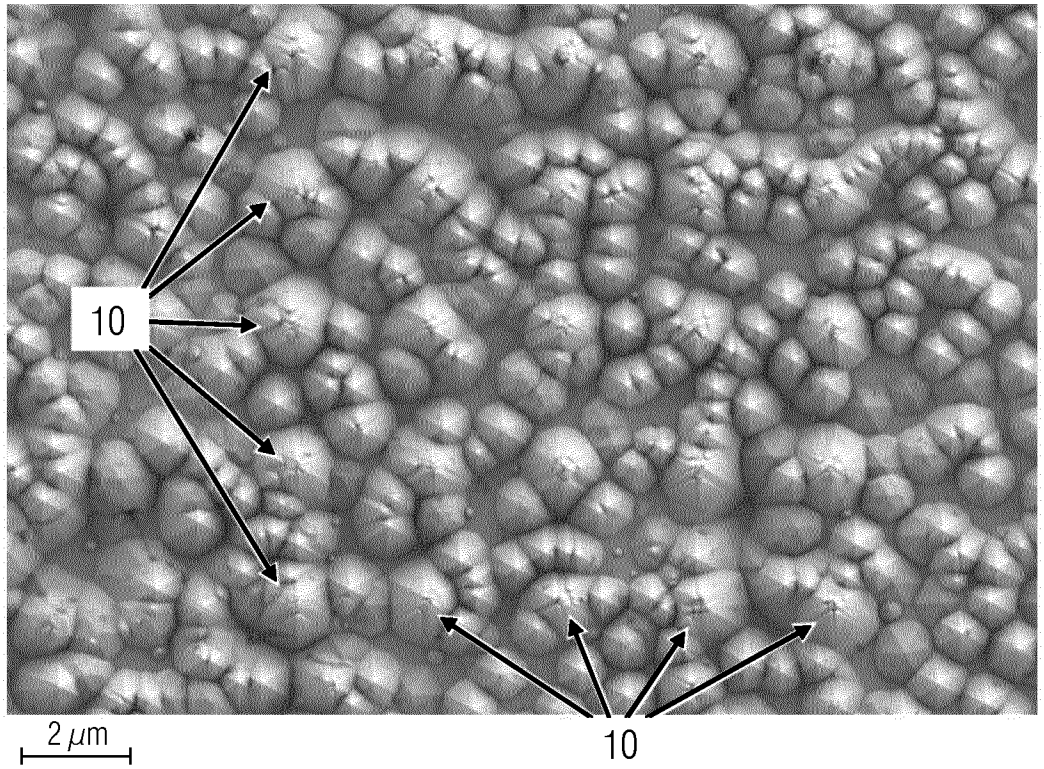


FIG 11E

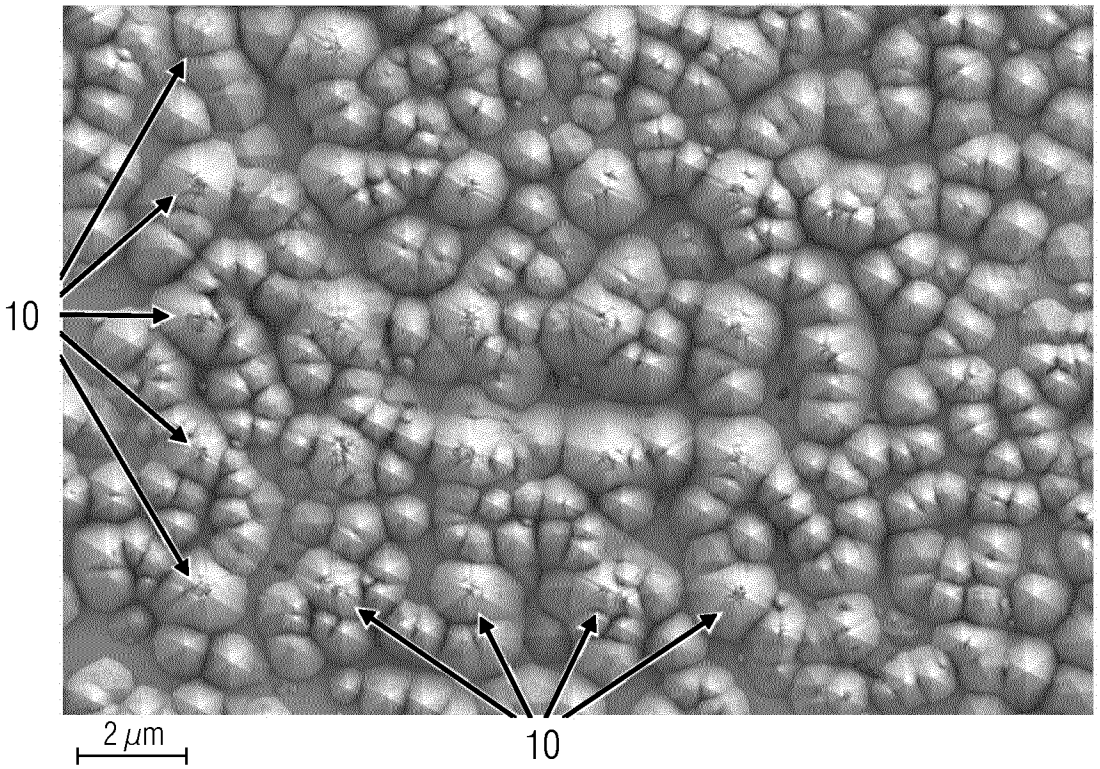


FIG 11F

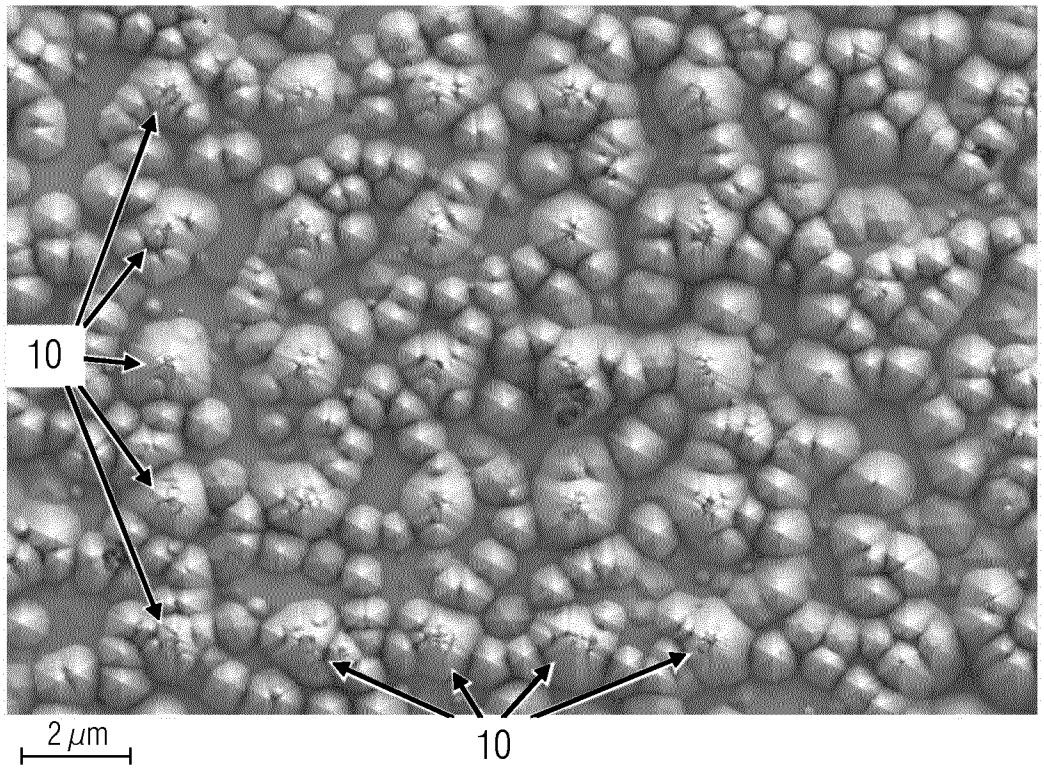


FIG 11G

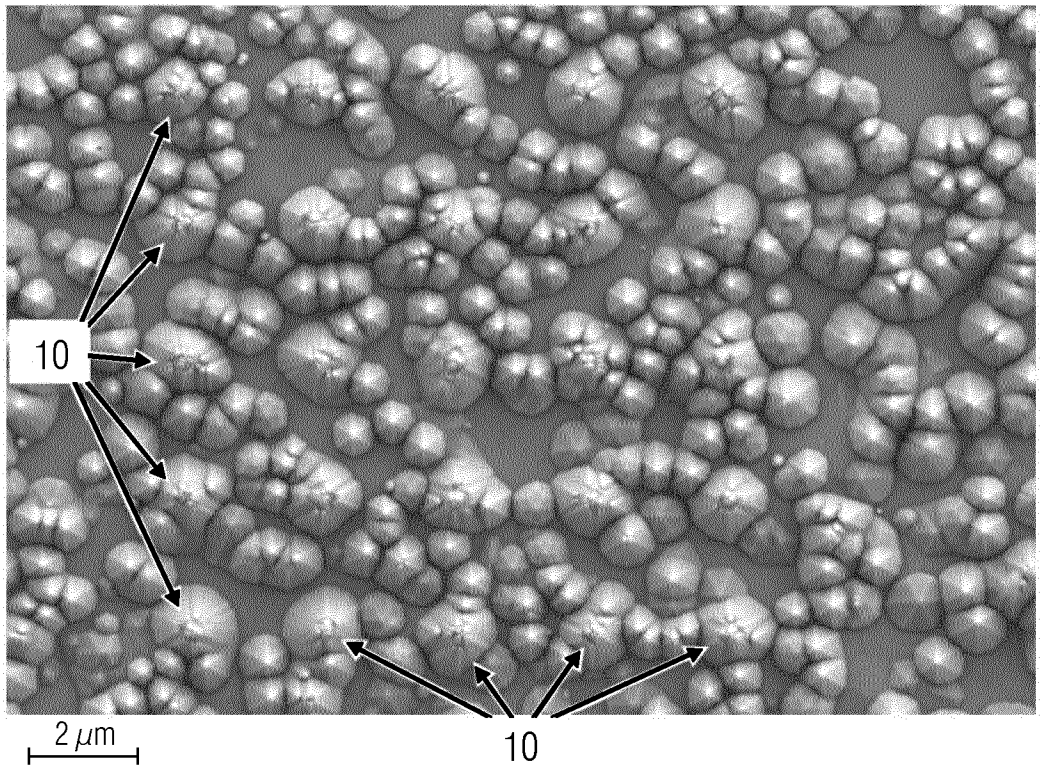


FIG 11H

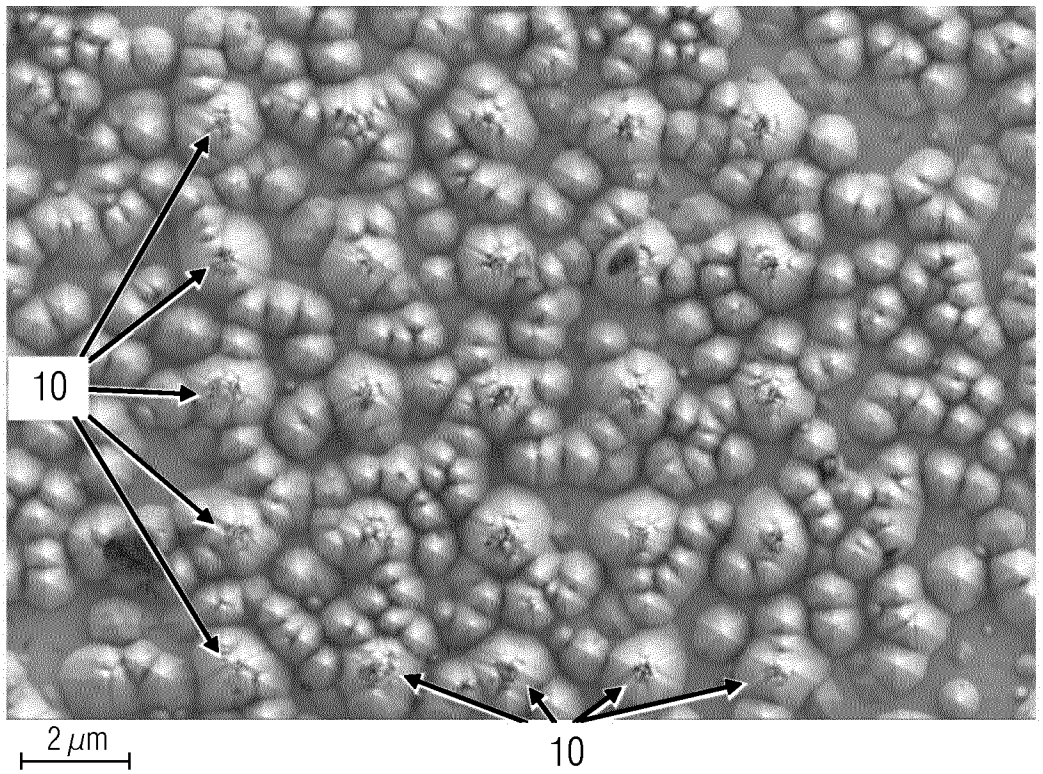


FIG 12

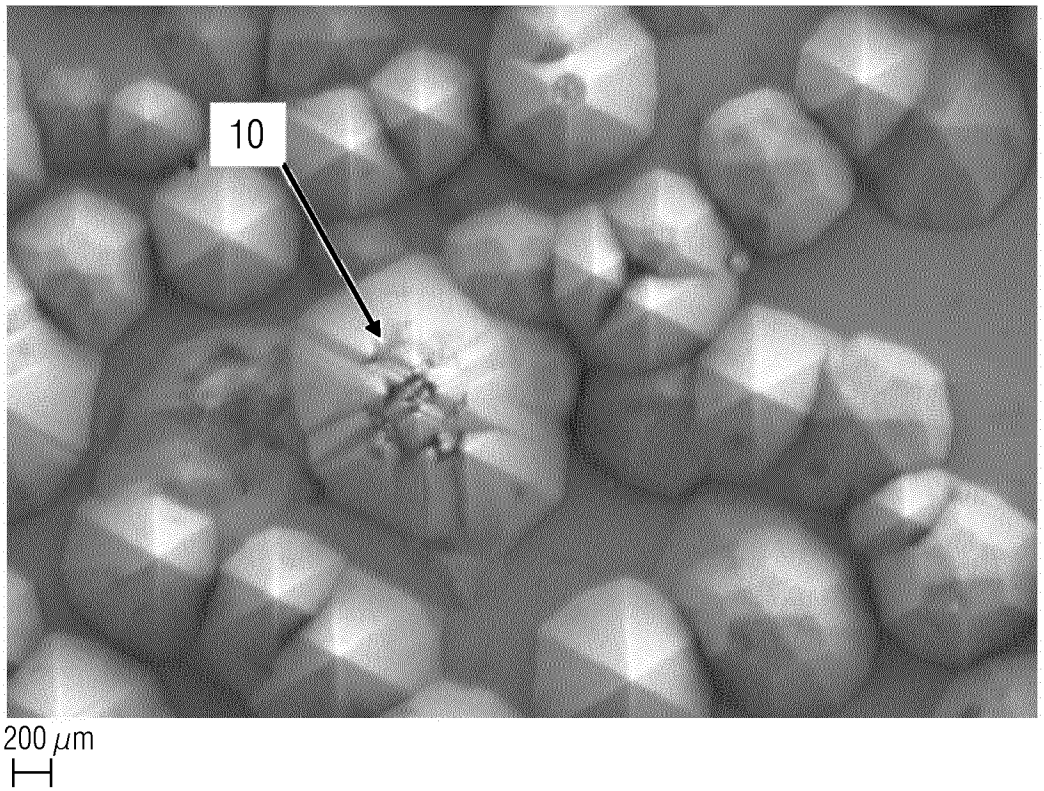


FIG 13

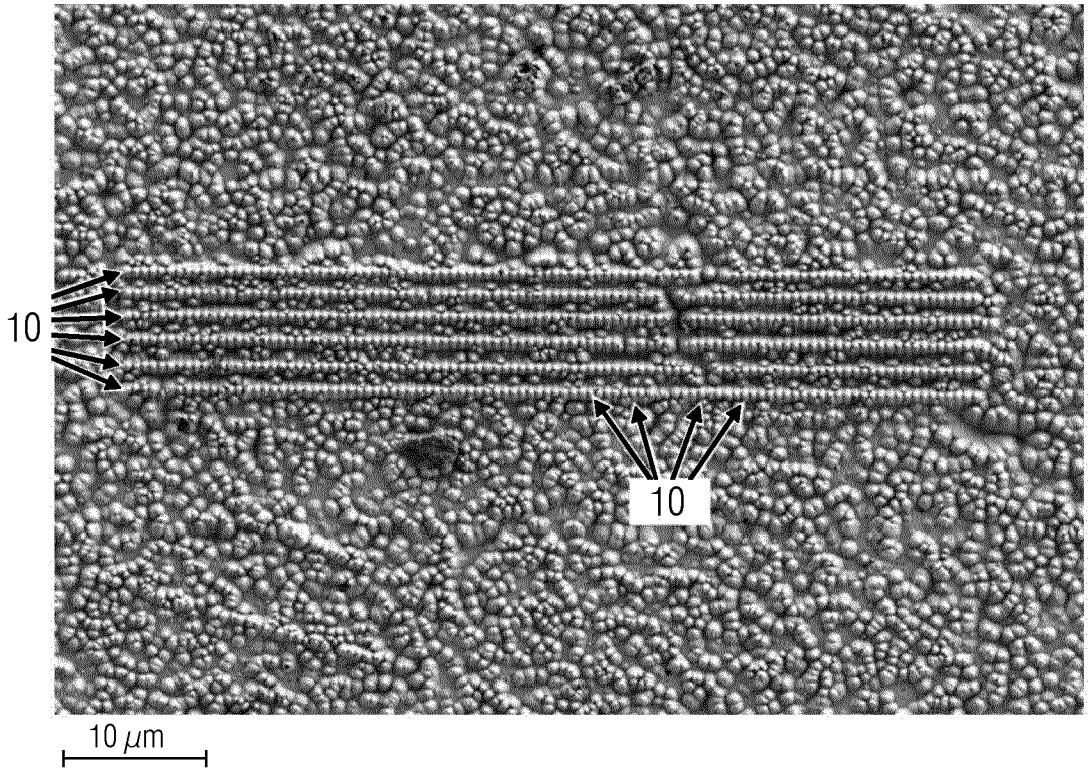


FIG 14A

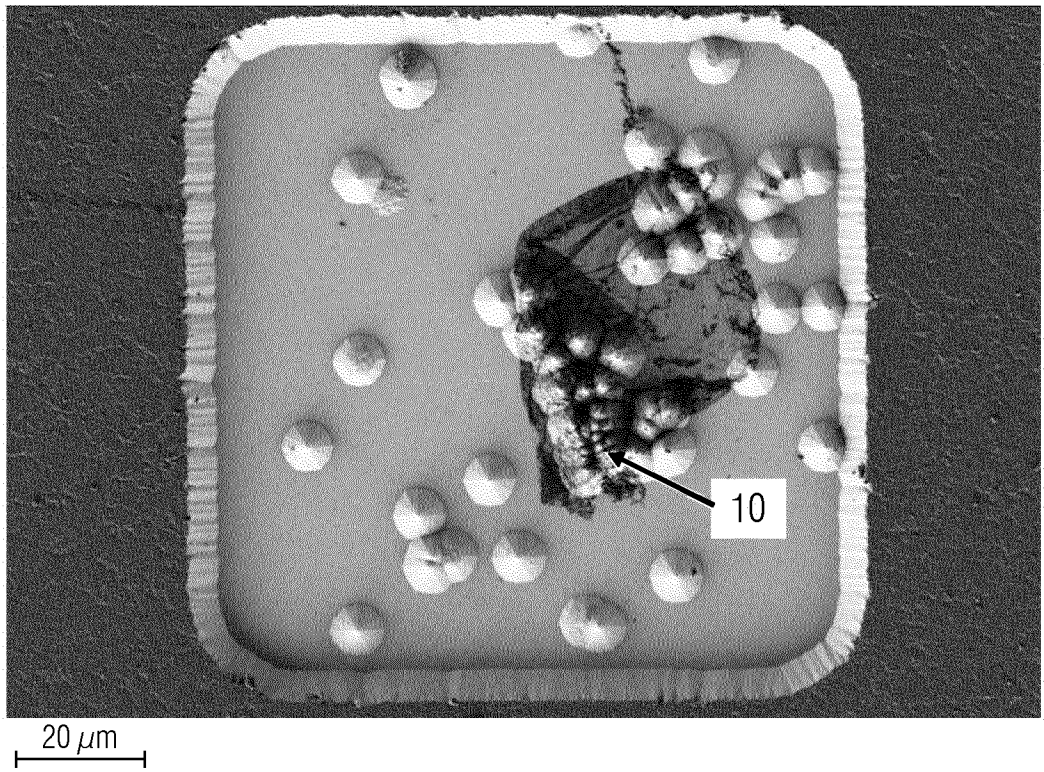


FIG 14B

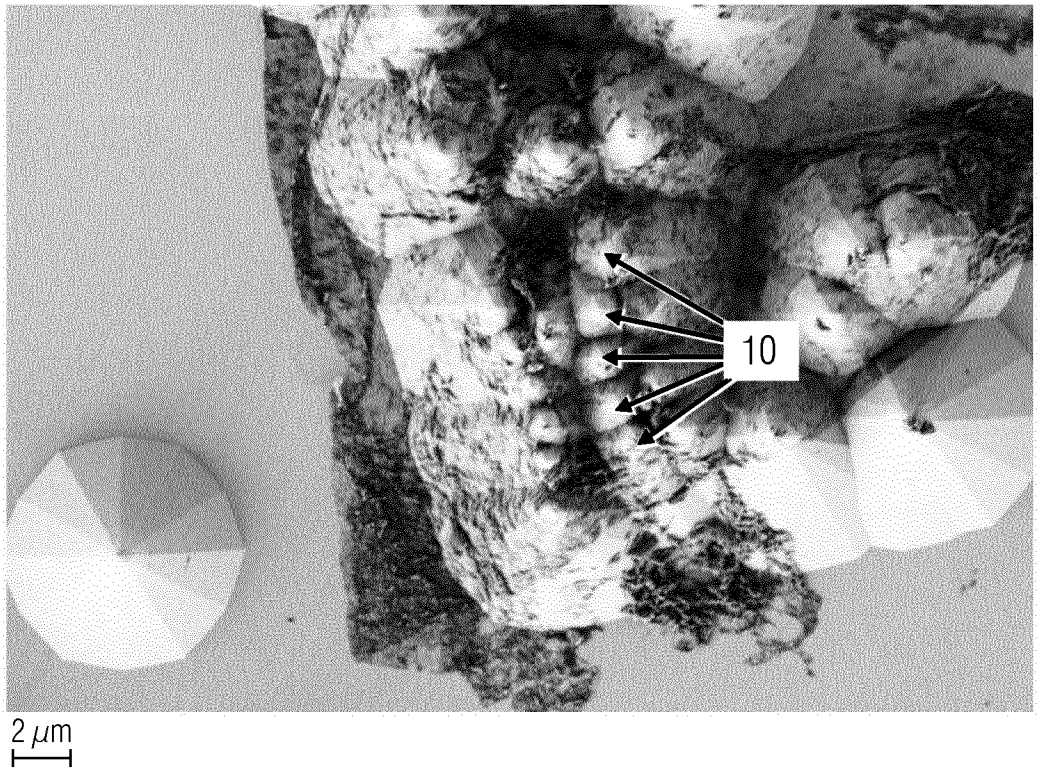
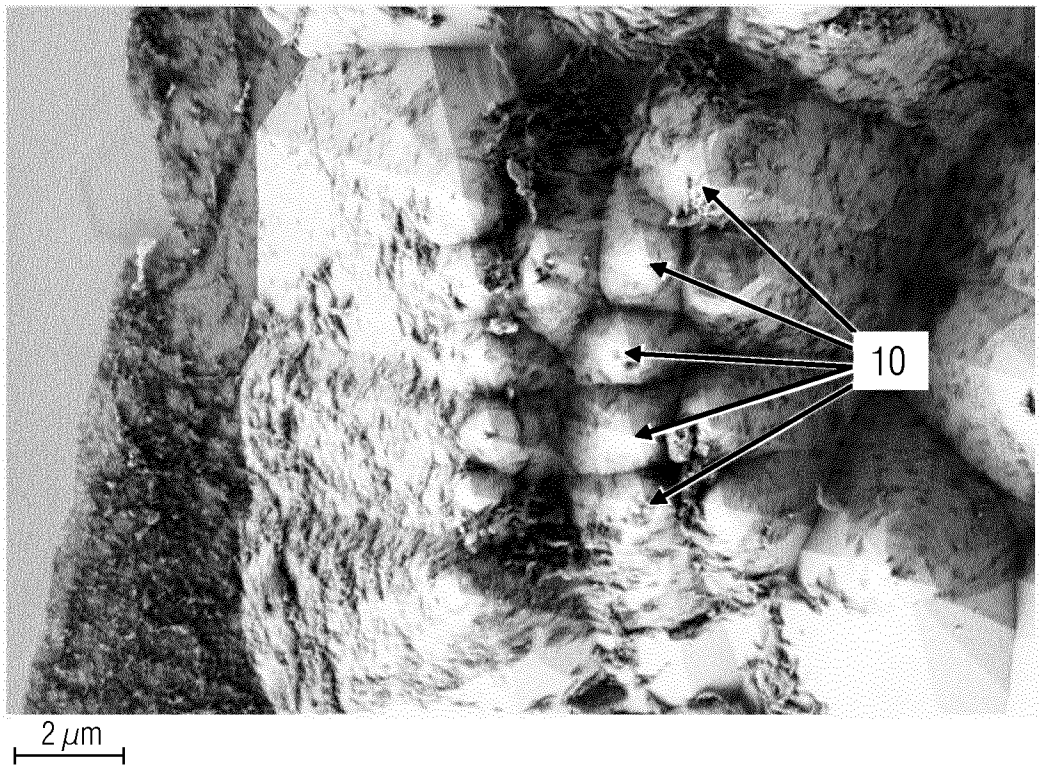


FIG 14C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2020/056911

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/306(2006.01)i; ***H01L 33/20***(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TETSUYA TADA ET AL. "AIN as a Dry-Etch Durable Resist for Electron and Ion Beam Lithography" *JPN. J. APPL. PHYS, PART 2,* Vol. 32, No. 3B, 15 March 1993 (1993-03-15), pages 458-460 XP055696821 the whole document	1-16
X	JP H01274432 A (NEC CORP) 02 November 1989 (1989-11-02) the whole document	1-5,8-13
X	GB 2131748 A (SECR DEFENCE) 27 June 1984 (1984-06-27) page 1, lines 60-107 page 2, lines 69-74	1,4-7,9-14
X	EP 1089329 A1 (SHINETSU HANDOTAI KK [JP]) 04 April 2001 (2001-04-04) paragraphs [0001], [0007] - [0009], [0014], [0018], [0019], [0021], [0025] - [0030]; example 1	1-5,8-14

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 May 2020	**09 June 2020**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Szarowski, Anne** Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YONGJIN WANG ET AL. "Fabrication and characterization of freestanding circular GaN gratings" *OPTICS EXPRESS*, Vol. 18, No. 2, 06 January 2010 (2010-01-06), pages 773-779 DOI: 10.1364/OE.18.000773 XP055698608 abstract pages 776-778; figures 1,2,4	14-16
X	YUAN GAO ET AL. "Enhanced wet etching of patterned GaN with heavy-ion implantation" *NANOELECTRONICS CONFERENCE (INEC), 2010 3RD INTERNATIONAL, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA*, 03 January 2010 (2010-01-03), pages 505-506 ISBN: 978-1-4244-3543-2. XP031645113 the whole document	14,15
X	US 2009087994 A1 (LEE JONG HO [KR] ET AL) 02 April 2009 (2009-04-02) embodiment 1A; paragraphs [0048] - [0058]; figure 2	14,15
X	CHENG-CHE HSIEH ET AL. "Fabrication of pyramid array nanostructure on gallium nitride" *TECHCONNECT BRIEFS*, Vol. 2, 21 June 2010 (2010-06-21), pages 249-252 XP055697094 pages 249-251	14,17
X	US 2014242801 A1 (DESPLATS OLIVIER [FR] ET AL) 28 August 2014 (2014-08-28) paragraphs [0069], [0070], [0076]; figures 5,6	14,17
X	DE 102010012044 A1 (UNIV SCHILLER JENA [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 22 September 2011 (2011-09-22) paragraphs [0007], [0008], [0013], [0015], [0018], [0019], [0025], [0035], [0040], [0048], [0049], [0051] - [0053]; figures 1,2,4,5,6	14,15,17
A	RICHTER G ET AL. "High-resolution patterning of semiconductors using electron-beam-assisted wet etching" *APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US*, Vol. 81, No. 9, 26 August 2002 (2002-08-26), pages 1693-1695 DOI: 10.1063/1.1503397 ISSN: 0003-6951, XP012033389 the whole document	1-17
A	JP H04133327 A (HIKARI KEISOKU GIJIYUTSU KAIHA) 07 May 1992 (1992-05-07) the whole document	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2020/056911

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	H01274432	A	02 November 1989	NONE			
GB	2131748	A	27 June 1984	NONE			
EP	1089329	A1	04 April 2001	EP	1089329	A1	04 April 2001
				JP	3963651	B2	22 August 2007
				KR	20010052671	A	25 June 2001
				TW	463246	B	11 November 2001
				US	6589447	B1	08 July 2003
				WO	0065642	A1	02 November 2000
US	2009087994	A1	02 April 2009	DE	102008049395	A1	16 April 2009
				JP	2009088519	A	23 April 2009
				US	2009087994	A1	02 April 2009
US	2014242801	A1	28 August 2014	EP	2784803	A2	01 October 2014
				FR	3002689	A1	29 August 2014
				JP	2014225638	A	04 December 2014
				US	2014242801	A1	28 August 2014
DE	102010012044	A1	22 September 2011	DE	102010012044	A1	22 September 2011
				DE	202011003479	U1	19 May 2011
JP	H04133327	A	07 May 1992	NONE			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056911

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/306 H01L33/20
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	TETSUYA TADA ET AL: "AIN as a Dry-Etch Durable Resist for Electron and Ion Beam Lithography", JPN. J. APPL. PHYS, PART 2, Bd. 32, Nr. 3B, 15. März 1993 (1993-03-15) , Seiten 458-460, XP055696821, das ganze Dokument	1-16
X	JP H01 274432 A (NEC CORP) 2. November 1989 (1989-11-02) das ganze Dokument	1-5,8-13
X	GB 2 131 748 A (SECR DEFENCE) 27. Juni 1984 (1984-06-27) Seite 1, Zeilen 60-107 Seite 2, Zeilen 69-74	1,4-7, 9-14

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28. Mai 2020	09/06/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Szarowski, Anne

1

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 089 329 A1 (SHINETSU HANDOTAI KK [JP]) 4. April 2001 (2001-04-04) Absätze [0001], [0007] - [0009], [0014], [0018], [0019], [0021], [0025] - [0030]; Beispiel 1	1-5,8-14
X	YONGJIN WANG ET AL: "Fabrication and characterization of freestanding circular GaN gratings", OPTICS EXPRESS, Bd. 18, Nr. 2, 6. Januar 2010 (2010-01-06) , Seiten 773-779, XP055698608, DOI: 10.1364/OE.18.000773 Zusammenfassung Seiten 776-778; Abbildungen 1,2,4	14-16
X	YUAN GAO ET AL: "Enhanced wet etching of patterned GaN with heavy-ion implantation", NANOELECTRONICS CONFERENCE (INEC), 2010 3RD INTERNATIONAL, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3. Januar 2010 (2010-01-03), Seiten 505-506, XP031645113, ISBN: 978-1-4244-3543-2 das ganze Dokument	14,15
X	US 2009/087994 A1 (LEE JONG HO [KR] ET AL) 2. April 2009 (2009-04-02) Ausführungsform 1A; Absätze [0048] - [0058]; Abbildung 2	14,15
X	CHENG-CHE HSIEH ET AL: "Fabrication of pyramid array nanostructure on gallium nitride", TECHCONNECT BRIEFS, Bd. 2, 21. Juni 2010 (2010-06-21), Seiten 249-252, XP055697094, Seiten 249-251	14,17
X	US 2014/242801 A1 (DESPLATS OLIVIER [FR] ET AL) 28. August 2014 (2014-08-28) Absätze [0069], [0070], [0076]; Abbildungen 5,6	14,17
X	DE 10 2010 012044 A1 (UNIV SCHILLER JENA [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 22. September 2011 (2011-09-22) Absätze [0007], [0008], [0013], [0015], [0018], [0019], [0025], [0035], [0040], [0048], [0049], [0051] - [0053]; Abbildungen 1,2,4,5,6	14,15,17

-/--

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056911

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	RICHTER G ET AL: "High-resolution patterning of semiconductors using electron-beam-assisted wet etching", APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US, Bd. 81, Nr. 9, 26. August 2002 (2002-08-26), Seiten 1693-1695, XP012033389, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.1503397 das ganze Dokument -----	1-17
A	JP H04 133327 A (HIKARI KEISOKU GIJIYUTSU KAIHA) 7. Mai 1992 (1992-05-07) das ganze Dokument -----	1-17

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056911

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H01274432 A	02-11-1989	KEINE	
GB 2131748 A	27-06-1984	KEINE	
EP 1089329 A1	04-04-2001	EP 1089329 A1	04-04-2001
		JP 3963651 B2	22-08-2007
		KR 20010052671 A	25-06-2001
		TW 463246 B	11-11-2001
		US 6589447 B1	08-07-2003
		WO 0065642 A1	02-11-2000
US 2009087994 A1	02-04-2009	DE 102008049395 A1	16-04-2009
		JP 2009088519 A	23-04-2009
		US 2009087994 A1	02-04-2009
US 2014242801 A1	28-08-2014	EP 2784803 A2	01-10-2014
		FR 3002689 A1	29-08-2014
		JP 2014225638 A	04-12-2014
		US 2014242801 A1	28-08-2014
DE 102010012044 A1	22-09-2011	DE 102010012044 A1	22-09-2011
		DE 202011003479 U1	19-05-2011
JP H04133327 A	07-05-1992	KEINE	