



(10) **DE 10 2015 114 368 A1 2016.03.03**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 368.2**

(22) Anmeldetag: **28.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2016**

(51) Int Cl.: **C02F 9/04 (2006.01)**

**B01D 21/01 (2006.01)**

**C01B 33/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**14/470,998**

**28.08.2014 US**

(74) Vertreter:

**Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und Rechtsanwälte, 01099 Dresden, DE**

(71) Anmelder:

**Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE**

(72) Erfinder:

**Kroener, Friedrich, Villach, AT; Kroener, Zeljka, Villach, AT**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM ENTFERNEN VON PARTIKELFÖRMIGEM SILIZIUM AUS ABWASSER**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren (100) zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, das im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure sub-stöchiometrisch ist (102); Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält (104); und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander (106).

100

Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, das im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure sub-stöchiometrisch ist;

102

Hinzufügen einer Komponente zum Abwasser, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Triammoniumphosphat, Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumpolyphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon

104

Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält

106

Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander

108

### Beschreibung

**[0001]** Verschiedene Ausführungsformen betreffen ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser.

**[0002]** Abwasser kann in einem industriellen Prozess entstehen. Ein solches Abwasser kann einen Feststoffgehalt aufweisen. Zum Beispiel kann der Feststoffgehalt Partikel enthalten oder bilden. Zum Beispiel kann der Feststoffgehalt Silizium enthalten. Zum Beispiel können das Abwasser und der Feststoffgehalt bei der Produktion eines oder mehrerer Halbleiterchips und/oder der Verarbeitung eines oder mehrerer Halbleiterwafer entstehen. Zum Beispiel kann eine Bearbeitung eines Halbleiterwafers, zum Beispiel durch eines oder mehrere von Schleifen, Polieren und Ausdünnen des Wafers, zu einem Abwasser führen, das Silizium in Form kleiner Partikel enthält, die im Abwasser suspendiert oder verteilt sind. Zum Beispiel kann das Abwasser und sein Feststoffgehalt zusätzlich ein Dotierungsmittel wie Arsen enthalten.

**[0003]** Gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser aufweisen: Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) substöchiometrisch ist; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0004]** Gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser ein Hinzufügen einer Base zum Abwasser in einer solchen Menge, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, kleiner als oder gleich 2:1, z.B. kleiner als oder gleich 1:1 ist; ein Halten eines erhaltenen Gemisches der Base und des Abwassers über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und ein Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander aufweisen.

**[0005]** Gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser aufweisen: Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Kaliumhydroxid im Abwasser

pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,01 bis 0,05 Mol aufgelöstem Kalziumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Bariumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol Ammonium im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, wobei das aufgelöste Natriumhydroxid teilweise oder vollständig mit einem oder mehreren der Folgenden substituiert ist: aufgelöstes Kaliumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1, aufgelöstes Kalziumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2 (das heißt, zwei Teile Natriumhydroxid können durch einen Teil Kalziumhydroxid ersetzt werden), aufgelöstes Bariumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2 und Ammonium in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und eines oder mehrerer von dem aufgelösten Natriumhydroxid, dem aufgelösten Kaliumhydroxid, dem aufgelösten Kalziumhydroxid, dem aufgelösten Bariumhydroxid und dem Ammonium über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0006]** In den Zeichnungen beziehen sich gleiche Bezugszeichen in allen verschiedenen Ansichten im Allgemeinen auf dieselben oder ähnliche Teile. Die Zeichnungen sind nicht unbedingt im Maßstab und der Schwerpunkt liegt im Allgemeinen vielmehr auf der Veranschaulichung der Prinzipien der Erfindung. In der folgenden Beschreibung sind verschiedene Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, von welchen:

**[0007]** Fig. 1 ein Ablaufdiagramm ist, das ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt;

**[0008]** Fig. 2 ein Ablaufdiagramm ist, das ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt;

**[0009]** Fig. 3 ein Ablaufdiagramm ist, das ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt;

**[0010]** Fig. 4 eine Fotografie von mehreren Laborbechern zeigt, wobei der obere Laborbecher ein unbehandeltes Abwasser (eine Abwasserprobe) enthält und wobei die Laborbecher der unteren Reihe unter-

schiedlich behandelte Abwässer enthalten (die Beispiele und ein Vergleichsbeispiel der vorliegenden Offenbarung darstellen);

**[0011]** **Fig.** 5 eine vergrößerte Fotografie des oberen Laborbechers von **Fig.** 4 zeigt;

**[0012]** **Fig.** 6 eine vergrößerte Fotografie des dritten Laborbechers von links in der unteren Reihe von **Fig.** 4 zeigt, wobei der Laborbecher ein Beispiel der vorliegenden Offenbarung enthält;

**[0013]** **Fig.** 7 eine vergrößerte Fotografie eines anderen Laborbechers zeigt, der ein Abwasser enthält, das mit einem Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen behandelt ist und somit ein anderes Beispiel der vorliegenden Offenbarung enthält;

**[0014]** **Fig.** 8 schematisch ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt;

**[0015]** **Fig.** 9 eine vergrößerte Fotografie des zweiten Laborbechers von links in der unteren Reihe von **Fig.** 4 zeigt, wobei der Laborbecher ein weiteres Beispiel der vorliegenden Offenbarung enthält;

**[0016]** **Fig.** 10 eine vergrößerte Fotografie des zweiten Laborbechers von links in der unteren Reihe von **Fig.** 4 zeigt; und

**[0017]** **Fig.** 11 schematisch ein anderes Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt.

**[0018]** Die folgende ausführliche Beschreibung bezieht sich auf die beiliegenden Zeichnungen, die zur Veranschaulichung spezielle Einzelheiten und Ausführungsformen zeigen, in welchen die Erfindung ausgeführt werden kann. Diese Ausführungsformen sind in ausreichendem Detail beschrieben, so dass Fachleute auf dem Gebiet die Erfindung ausführen können. Es können andere Ausführungsformen verwendet werden und strukturelle, logische und elektrische Änderungen können vorgenommen werden, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen. Die verschiedenen Ausführungsformen sind nicht unbedingt wechselseitig ausschließend, da alle oder einige Ausführungsformen mit einer oder mehreren anderen Ausführungsform(en) zur Bildung neuer Ausführungsformen kombiniert werden kann (können).

**[0019]** Das Wort "beispielhaft" wird hier in der Bedeutung "als Beispiel, Fall oder Veranschaulichung dienend" verwendet. Jede Ausführungsform oder jedes Design, die bzw. das hier als "beispielhaft" beschrieben ist, ist nicht unbedingt als bevorzugt oder

vorteilhaft gegenüber anderen Ausführungsformen oder Designs auszulegen.

**[0020]** Die Begriffe "zumindest ein" und "ein oder mehrere" können so verstanden werden, dass sie eine ganze Zahl größer als oder gleich eins enthalten, d.h., eins, zwei, drei, vier, ..., usw.

**[0021]** Eine Verarbeitung eines Halbleiterwafers, zum Beispiel durch eines oder mehrere von Schleifen, Polieren (zum Beispiel chemisch-mechanisches Polieren) und Ausdünnen des Wafers, kann zu einem Abwasser führen, das Silizium in Form von Partikeln enthält. Manchmal kann das Abwasser zusätzlich ein Dotierungsmittel wie Arsen enthalten. In gewissen Fällen kann es hilfreich sein, ein solches Abwasser durch Entfernen des partikelförmigen Siliziums aus dem Abwasser zu behandeln oder zu reinigen.

**[0022]** Zu diesem Zweck kann das Abwasser filtriert werden, das heißt, das gesamte Abwasser kann durch ein Filterelement geleitet werden, so dass die Siliziumpartikel zurückbleiben und somit abgetrennt werden. Ein solcher Prozess könnte jedoch komplex und teuer sein. Zum Beispiel könnte ein Filterelement regelmäßig getauscht werden müssen.

**[0023]** Alternativ kann das Abwasser in einem Sedimentationsbecken bereitgestellt werden, so dass sich die Siliziumpartikel am Boden des Beckens absetzen können ("normale Sedimentation"). Später kann das geklärte Abwasser über dem Sediment von dem Sediment entfernt werden, um somit das Sediment und das Abwasser voneinander zu trennen. Ein solcher Prozess könnte jedoch aufgrund der geringen Sedimentationsgeschwindigkeit der kleinen Siliziumpartikel Wochen oder Monate dauern.

**[0024]** Als weitere Alternative können ein Metallsalz (wie Eisenchlorid) und eine Base (wie Natriumhydroxid) dem Abwasser zugefügt werden, um die Siliziumpartikel durch Co-Präzipitation zu binden und zu sedimentieren. Das Präzipitat (Eisenhydroxid einschließlich Silizium), das ein Sediment oder eine Aufschlämmung am Boden eines Gefäßes bildet, und das geklärte Abwasser über dem Präzipitat können dann voneinander getrennt werden.

**[0025]** Ein Aspekt von verschiedenen hierin beschriebenen Ausführungsformen ist die Bereitstellung eines Verfahrens zum Behandeln und Reinigen eines Abwassers, insbesondere eines Verfahrens zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser. Ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen dieser Offenbarung kann eine rasche Bildung eines Sediments enthalten, das zumindest einen Teil der Siliziummenge enthält,

die anfänglich im Abwasser enthalten ist (zum Beispiel im Vergleich zur "normalen Sedimentation").

**[0026]** Alternativ oder zusätzlich kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen dieser Offenbarung die Bildung eines Sediments, das zumindest einen Teil der Siliziummenge enthält, die anfänglich im Abwasser enthalten ist, ohne Verwendung eines Metallsalzes ermöglichen.

**[0027]** Alternativ oder zusätzlich kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen dieser Offenbarung die Abtrennung zumindest eines Teils der Siliziumpartikel auf kosteneffektive und/oder einfache und/oder zuverlässige und/oder rasche Weise ermöglichen.

**[0028]** Alternativ oder zusätzlich kann ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen dieser Offenbarung eine Behandlung großer Abwassermengen, wie Mengen bis zu 1000 m<sup>3</sup> pro Tag, ermöglichen.

**[0029]** Prinzipiell ist es möglich, Silizium in einer heißen Alkalilösung vollständig aufzulösen, vorausgesetzt dass eine ausreichende Menge einer Base in der Lösung bereitgestellt ist. Das Silizium wird von der Base angegriffen und reagiert zu Kieselsäure. Dadurch "verschwinden" die dunklen Siliziumpartikel und die Lösung wird transparent. Die Kieselsäure kann dann zur Bildung von Kieselsäurepartikeln polymerisieren, zum Beispiel mit einer Größe von einigen Nanometern.

**[0030]** Mit Hilfe dieser Strategie können Siliziumpartikel aus Abwasser entfernt werden, indem sie aufgelöst werden. Die Bildung eines Klärschlammes, der sedimentierte Siliziumpartikel (und optional ein oder mehrere Dotierungsmittel) enthält, in einer Abwasserbehandlungsanlage könnte somit verhindert werden.

**[0031]** Die Bildung eines Klärschlammes oder Sediments, der bzw. das Silizium enthält, kann zur Wirkung haben, dass Silizium zumindest teilweise aus dem Abwasser gewonnen oder entfernt wird (anstatt es darin aufzulösen). Ferner können andere Substanzen, wie ein Dotierungsmittel, gemeinsam mit Silizium sedimentiert werden.

**[0032]** Ein Aspekt verschiedener hier beschriebener Ausführungsformen ist darin erkennbar, dass durch Hinzufügen einer verringerten oder kleinen Menge einer Base zum Abwasser (anstatt eines Hinzufügens einer Menge, die zum Auflösen der kompletten Menge von Silizium notwendig ist), ein Teil des Siliziums, das im Abwasser enthalten ist, sedimentiert (an-

statt aufgelöst zu werden), während ein anderer Teil des Siliziums noch immer aufgelöst sein kann. Diese Sedimentation findet in einem Zeitraum statt, der viel kürzer als ein Zeitraum ist, der zum Sedimentieren der Siliziumpartikel in unbehandeltem Abwasser (normale oder natürliche Sedimentation) erforderlich ist. Dies kann auf die Bildung von Siliziumaggregaten zurückzuführen sein. Daher kann die Sedimentation, die durch das Hinzufügen einer verringerten Menge einer Base erzielt wird, als "geförderte" oder "erzwungene" Sedimentation angesehen werden.

**[0033]** Ein weiterer Aspekt verschiedener hier beschriebener Ausführungsformen ist darin erkennbar, dass durch zusätzliches Hinzufügen einer speziellen Verbindung (wie Diammoniumphosphat; siehe unten) zum Abwasser die obengenannte Sedimentationswirkung verstärkt werden kann, so dass mehr Silizium sedimentiert werden kann. So kann die Sedimentation durch Hinzufügen der speziellen Verbindung weiter gefördert werden.

**[0034]** Die (geförderte) Sedimentation von Silizium kann in einem Zeitraum stattfinden, der noch kürzer ist als ein Zeitraum, der zum vollständigen Auflösen der Siliziumpartikel erforderlich ist.

**[0035]** Fig. 1 zeigt ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren **100** zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt.

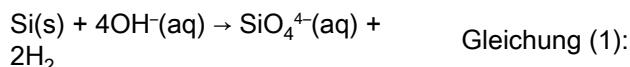
**[0036]** Verfahren **100** kann ein Hinzufügen einer Base zum Abwasser (in **102**) enthalten, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, das im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure oder ortho-Silikationen sub-stöchiometrisch ist; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält (in **106**); und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander (in **108**).

**[0037]** In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Verfahren **100** ferner ein Hinzufügen einer speziellen Komponente zum Abwasser (in **104**) enthalten. Die spezielle Komponente kann ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon. Mit anderen Worten, Bezugszeichen **104** gibt einen optionalen Schritt an. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser nach dem Hinzufügen der Base zum Abwasser erfolgen. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser vor dem Hinzufügen der Base zum Abwasser er-

folgen. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) können das Hinzufügen der Base zum Abwasser und das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser gleichzeitig erfolgen.

**[0038]** In **102** wird die Base dem Abwasser in einer sub-stöchiometrischen Menge zugegeben. Daher kann vermieden werden, dass eine Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, durch die Base vollständig aufgelöst wird.

**[0039]** Zum Beispiel kann, basierend auf der folgenden Gleichung (1), eine substöchiometrische Menge bedeuten, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt/gebildet werden, zu einer Gesamtmenge an Silizium, die im Abwasser enthalten ist, kleiner als 4:1, zum Beispiel gleich oder kleiner als 2:1, zum Beispiel gleich oder kleiner als 1:1 ist.



**[0040]** Wenn daher dem Abwasser eine sub-stöchiometrische Menge der Base hinzugefügt wird, ist es nicht möglich, dass die Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu Kieselsäure reagiert. Eine solche vollständige Reaktion der Gesamtmenge von Silizium würde die Siliziumpartikel auflösen, die im Abwasser enthalten sind, so dass das Silizium nicht mehr länger durch Sedimentation abgetrennt werden kann.

**[0041]** Gemäß verschiedenen Ausführungsformen wird die hinzugefügte Menge der Base so eingestellt, dass zumindest einige der Siliziumpartikel nicht vollständig mit den wässrigen Hydroxidionen reagieren und durch diese nicht vollständig aufgelöst werden, sondern stattdessen mit wässrigen Hydroxidionen an deren Außenfläche reagieren und mit anderen Siliziumpartikeln agglomerieren (zum Beispiel durch eine Kondensationsreaktion). Die agglomerierten Siliziumpartikel können dann zum Boden eines Behälters oder Beckens sedimentieren, der bzw. das das Abwasser aufnimmt, so dass sie leicht von dem geklärten Abwasser über dem Sediment getrennt werden können.

**[0042]** Für Fachleute auf dem Gebiet sollte daher klar sein, dass es weder notwendig noch zwingend ist, dass eine Reaktion gemäß der obenstehenden Gleichung (1) tatsächlich in einem Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung stattfindet (insbesondere nicht in Bezug auf jedes einzelne Siliziumpartikel), sondern stattdessen die obenstehende Gleichung nur zur Bestimmung der sub-stöchiometrischen Menge der Base verwendet werden kann, die im Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung verwendet werden soll.

**[0043]** Zum Beispiel kann in **102** die Base eines oder mehrere von Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Kalziumhydroxid, Bariumhydroxid und Ammoniak enthalten.

**[0044]** In **106** wird das erhaltene Gemisch aus Base und Abwasser für einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich gehalten. Falls notwendig kann das erhaltene Gemisch extern erwärmt werden, um das Gemisch auf den vorbestimmten Temperaturbereich zu bringen und/oder in diesem zu halten. Der Zeitraum kann zum Beispiel einige Minuten sein und in einer beispielhaften Ausführungsform kann der vorbestimmte Temperaturbereich 40 bis 80°C sein. Ein Halten des Gemisches für den Zeitraum im vorbestimmten Temperaturbereich führt zur Bildung des Sediments, das Silizium (optional auch ein oder mehrere Dotierungsmittel) enthält. Sobald das Sediment gebildet ist, kann das Halten des Gemisches für den Zeitraum im vorbestimmten Temperaturbereich beendet werden.

**[0045]** Somit kann Silizium aus dem Abwasser in **108** entfernt werden, indem das Abwasser und das Sediment, das Silizium enthält, z.B. durch Dekantieren des geklärten Abwassers über dem Sediment oder durch Ableiten des geklärten Abwassers über dem Sediment, voneinander getrennt werden.

**[0046]** In dem Verfahren **100** können die Siliziumpartikel anfänglich im Abwasser gleichmäßig verteilt oder suspendiert sein, um eine Dispersion (z.B. Suspension oder Aufschämmung) zu bilden, die kleine feste Siliziumpartikel enthält. Ferner können die Siliziumpartikel, die im Abwasser enthalten sind, allgemein zur Bildung eines Sediments neigen, das Silizium enthält, und vorausgesetzt, das Abwasser wird über einen ausreichenden Zeitraum (zum Beispiel mehrere Wochen oder Monate) stehen gelassen, können sich die Siliziumpartikel absetzen oder sedimentieren, so dass sie durch eine "normale" Sedimentation (ohne Hinzufügen von Chemikalien wie einer Base) vom Abwasser getrennt werden können.

**[0047]** Gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann die Bildung eines Sediments, das Silizium enthält, durch Hinzufügen der Base zum Abwasser in **102** beschleunigt oder gefördert werden (verglichen mit einer normalen Sedimentation).

**[0048]** In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann die Bildung eines Sediments, das Silizium enthält, ferner durch zusätzliches Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser in **104** verstärkt werden. In dieser Hinsicht haben die Erfinder beobachtet, dass durch das weitere Hinzufügen von zum Beispiel Diammoniumphosphat die Sedimentmenge und die Siliziummenge, die im Sediment enthalten ist, signifikant erhöht werden können.

**[0049]** Fig. 2 zeigt ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren 200 zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt.

**[0050]** Verfahren 200 kann ein Hinzufügen einer Base zum Abwasser in einer solchen Menge, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, kleiner als oder gleich 2:1, z.B. kleiner als oder gleich 1:1 ist (in 202); Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass eine Bildung eines Sediments, das Silizium enthält, möglich ist (in 206); und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander (in 208) enthalten.

**[0051]** In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Verfahren 200 ferner ein Hinzufügen einer speziellen Komponente zum Abwasser (in 204) enthalten. Die spezielle Komponente kann ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon. Mit anderen Worten, Bezugszeichen 204 zeigt einen optionalen Schritt an. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser nach Hinzufügen der Base zum Abwasser ausgeführt werden. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser vor Hinzufügen der Base zum Abwasser ausgeführt werden. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) können das Hinzufügen der Base zum Abwasser und das Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser gleichzeitig erfolgen.

**[0052]** Fig. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren 300 zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt.

**[0053]** Verfahren 300 kann ein Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist (in 302); Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und des aufgelösten Natriumhydroxids über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment, das Silizium enthält, bilden kann; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander enthalten.

**[0054]** In 302 ist es anstelle eines Bereitstellens von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, auch möglich, 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstes Kaliumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, bereitzustellen oder 0,01 bis 0,05 Mol aufgelöstes Kalziumhydroxid im Abwas-

ser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, bereitzustellen, oder 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstes Bariumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, bereitzustellen oder 0,02 bis 0,1 Mol Ammonium (zum Beispiel erhalten von Ammoniak) im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, bereitzustellen, oder 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstes Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, bereitzustellen, wobei das aufgelöste Natriumhydroxid teilweise oder vollständig mit einem oder mehreren der folgenden substituiert ist: aufgelöstes Kaliumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1, aufgelöstes Kalziumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2, aufgelöstes Bariumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2 und Ammonium in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1.

**[0055]** In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Verfahren 300 ferner ein Hinzufügen einer speziellen Komponente zum Abwasser (in 304) enthalten. Die spezielle Komponente kann ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon. Mit anderen Worten, Bezugszeichen 304 zeigt einen optionalen Schritt an. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann ein Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser nach Bereitstellen des aufgelösten Hydroxids im Abwasser ausgeführt werden. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann ein Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser vor Bereitstellen des aufgelösten Hydroxids im Abwasser ausgeführt werden. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) können ein Bereitstellen des aufgelösten Hydroxids im Abwasser und Hinzufügen der speziellen Komponente zum Abwasser gleichzeitig ausgeführt werden.

**[0056]** In der Folge sind Beispiele, in welchen die vorliegende Offenbarung in die Praxis umgesetzt wurde, unter Bezugnahme auf Fig. 4 bis Fig. 9 der Zeichnungen beschrieben.

#### Abwasser

**[0057]** Zuerst wurde eine Probe (a) aus Abwasser genommen, das von einer Produktion von Chips stammte, insbesondere von einem Wafer-Polierprozess. Die Probe (a) wurde auf mehrere Laborbecher verteilt. Ein Bild solcher Laborbecher (die die Probe (a) enthalten) ist in Fig. 4 (oben) und in Fig. 5 dargestellt. Wie in diesen Bildern erkennbar ist (siehe insbesondere Fig. 5), bildet Abwasser/Probe (a) eine Dispersion 1 (z.B. Aufschlammung oder Suspension), die kleine Siliziumpartikel enthält, die gleichmäßig darin verteilt sind. Die Dispersion 1 hat ein dunkles und trübes Aussehen oder eine solche Eigenschaft.

**[0058]** Die Menge an Siliziumpartikeln, die in der Probe (a) (oder dem entsprechenden Becher) enthalten ist, war ungefähr 100 mg pro Liter, wobei die meisten der Siliziumpartikel, die im Abwasser enthalten sind, im Sub-Mikrometerbereich waren. Ferner enthielt das Abwasser/die Probe eine geringe Menge an Arsen.

**[0059]** Es wurde beobachtet, dass sich die kleinen Siliziumpartikel absetzen oder sedimentieren (so dass sie durch eine normale Sedimentation vom Abwasser getrennt werden), wenn die Probe über einen ausreichend langen Zeitraum (zum Beispiel mehrere Wochen oder Monate) stehen gelassen wird.

**[0060]** Zur Beschleunigung einer Bildung eines Sediments, das Silizium enthält, wurden das Abwasser/die Probe mit einer Base behandelt, die in Beispielen (c), (c'), (d) und (d') erhalten wurde. Diese Beispiele sind in **Fig. 4**, **Fig. 6–Fig. 9** dargestellt. In allen diesen Beispielen wurde eine Base dem Abwasser/der Probe in einer sub-stöchiometrischen Menge (in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure oder ortho-Silikationen) zugefügt. Ferner konnte sich in allen diesen Beispielen ein Sediment, das Silizium enthielt, bilden. In Beispielen (d) und (d') wurden das Abwasser/die Probe zusätzlich mit Diammoniumphosphat behandelt. Dadurch konnte die Sedimentationswirkung verstärkt werden und die Menge des gebildeten Sediments konnte erhöht werden. Bezugszeichen (b) in **Fig. 4** bezeichnet ein Vergleichsbeispiel, das durch Behandeln der Probe (a)/des Abwassers mit einer über-stöchiometrischen Menge einer Base (in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure oder ortho-Silikationen) erhalten wurde.

#### Vergleichsbeispiel

**[0061]** Wie aus **Fig. 4** erkennbar ist, wenn dem Abwasser/der Probe (a) eine Base in einer über-stöchiometrischen Menge, hinzugefügt wird, wird das Silizium, das im Abwasser enthalten ist, im Abwasser vollständig aufgelöst, so dass eine eher klare oder transparente Lösung (b) erhalten wird. Somit kann das Silizium nicht mehr aus dem Abwasser getrennt werden (zumindest nicht durch Sedimentation).

**[0062]** Das Vergleichsbeispiel (b) wurde durch Hinzufügen von 0,8 mmol/l NaOH zum Abwasser/zur Probe (a) erhalten. Nach ungefähr 5 Minuten bei 60°C wurden die Siliziumpartikel aufgelöst und die anfänglich dunkle Dispersion der Siliziumpartikel wurde zu einer ziemlichen klaren Lösung. Es wird angenommen, dass das Hinzufügen einer über-stöchiometrischen Menge von NaOH zum Abwasser die Wirkung hat, dass hydroxyliertes Silizium ( $\text{Si(OH)}_4$ ) ge-

bildet wird und durch eine Polymerisationsreaktion zu einer polymeren Kieselsäure reagiert.

#### Beispiele

**[0063]** In der unteren Reihe von **Fig. 4** enthält der zweite Laborbecher von rechts ein Beispiel (c) gemäß der vorliegenden Offenbarung. Derselbe Laborbecher ist auch in **Fig. 6** dargestellt. Das Beispiel (c) wurde durch Hinzufügen einer Base zu Abwasser/Probe (a) in einer sub-stöchiometrischen Menge erhalten. Wie in **Fig. 6** erkennbar ist, enthält Beispiel (c) ein Sediment 5, das Silizium enthält, am Boden des Bechers und geklärtes Abwasser 3 über dem Sediment 5. In dieser Hinsicht wird angenommen, dass ein Teil der Siliziumpartikel, die im Abwasser enthalten sind, im Abwasser aufgelöst ist (Kieselsäure bildet), während ein anderer Teil der Siliziumpartikel, die im Abwasser enthalten sind, aggregiert ist und sich absetzt/sedimentiert, wodurch das Sediment 5 gebildet wird. Daher kann zumindest etwas von dem Silizium aus dem Abwasser durch Sedimentation abgetrennt werden.

**[0064]** Das Beispiel (c) wurde durch Hinzufügen von 0,2 mmol/l NaOH zu Abwasser/Probe (a) erhalten. Das erhaltene Gemisch aus Abwasser und Base wurde auf eine vorbestimmte Temperatur von etwa 60°C 5 Minuten erwärmt und bei dieser gehalten. Dadurch wurde ein Sediment 5, das Silizium enthielt, gebildet und das Sediment 5 konnte durch Dekantieren vom geklärten Abwasser 3 über dem Sediment abgetrennt werden. In einer oder mehreren Ausführungsform(en) kann das Hinzufügen einer sub-stöchiometrischen Menge NaOH zum Abwasser die Wirkung haben, dass teilweise hydroxylierte Siliziumpartikel gebildet werden und miteinander durch eine Kondensationsreaktion reagieren, so dass größere Siliziumpartikel gebildet werden, die zum Boden des Bechers sinken können.

**[0065]** **Fig. 7** zeigt einen Laborbecher, der ein anderes Beispiel (c') gemäß der vorliegenden Offenbarung enthält. Das Beispiel (c') wurde durch Hinzufügen einer Base zu Abwasser/Probe (a) in einer sub-stöchiometrischen Menge erhalten. Wie aus **Fig. 9** erkennbar ist, enthält Beispiel (c') ein Sediment 5, das Silizium enthält, am Boden des Bechers und geklärtes Abwasser 3 über dem Sediment 5. Daher konnte auch in diesem Beispiel (c') zumindest etwas von dem Silizium aus dem Abwasser durch Sedimentation abgetrennt werden.

**[0066]** Das Beispiel (c') wurde durch Hinzufügen von 0,1 mmol/l Kalziumhydroxid zu Abwasser/Probe (a) erhalten. Das erhaltene Gemisch aus Abwasser und Base (in diesem Fall Kalziumhydroxid) wurde 2 Minuten auf einen vorbestimmten Temperaturbereich von etwa 50°C erwärmt und bei diesem gehalten. Dadurch wurde ein Sediment 5, das Silizium enthält, ge-

bildet und das Sediment **5** konnte durch Dekantieren vom geklärten Abwasser **3** über dem Sediment abgetrennt werden.

**[0067]** Für jedes der Beispiele (c) und (c') wurde die Arsenkonzentration im geklärten Abwasser über dem Sediment gemessen und mit der Arsenkonzentration in der Probe (a) (unbehandeltes Abwasser) verglichen. Da die Arsenkonzentration im geklärten Abwasser geringer als die Arsenkonzentration im unbehandelten Abwasser war, ist offensichtlich, dass in den Beispielen (c) und (c') das Arsen teilweise zum Sediment überführt und in diesem enthalten war und somit gemeinsam mit dem Silizium aus dem Abwasser entfernt wurde.

**[0068]** **Fig. 8** zeigt schematisch das Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium, das beim Abwasser/bei der Probe (a) angewendet wurde, um die obengenannten Beispiele (c) und (c') zu erhalten. Zunächst wird das Abwasser in einem Behälter bereitgestellt. Das unbehandelte Abwasser bildet eine Dispersion **1** und hat ein dunkles und trübes Aussehen. Anschließend wird eine Base **7** (zum Beispiel festes Natriumhydroxid, eine Natriumhydroxidlösung oder Kalziumhydroxid) dem Abwasser hinzugefügt. Dann wird das erhaltene Gemisch aus Abwasser und Base für einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich gehalten, so dass ein Sediment **5**, das Silizium enthält, gebildet wird. Über dem Sediment **5** befindet sich geklärtes Abwasser **3**. Das geklärte Abwasser **3** kann dann, zum Beispiel durch Dekantieren, aus dem Behälter entfernt werden, wodurch das Sediment und das Abwasser voneinander getrennt werden, so dass nur das Sediment **5**, das Silizium (und optional ein oder mehrere Dotierungsmittel wie Arsen) enthält, im Behälter bleibt.

**[0069]** **Fig. 9** zeigt einen Laborbecher, der ein weiteres Beispiel (d) gemäß der vorliegenden Offenbarung enthält. Derselbe Laborbecher / Beispiel (d) ist auch in **Fig. 10**, dieses Mal von oben, und in **Fig. 4** dargestellt (der zweite Becher von links in der unteren Reihe). Das Beispiel (d) wurde durch Hinzufügen einer Base zu Abwasser/Probe (a) in einer substöchiometrischen Menge und durch zusätzliches Hinzufügen von Diammoniumphosphat zum Abwasser erhalten. Wie aus **Fig. 9** und **Fig. 10** erkennbar ist, enthält Beispiel (d) ein Sediment **5**, das Silizium enthält, am Boden des Bechers und geklärtes Abwasser **3** über dem Sediment **5**.

**[0070]** Daher kann auch in diesem Beispiel (d) zumindest etwas von dem Silizium aus dem Abwasser durch Sedimentation abgetrennt werden. Es wurde beobachtet, dass die Menge von Sediment wie auch die Siliziummenge, die im Sediment enthalten ist, durch weiteres Hinzufügen von Diammoniumphosphat zum Abwasser signifikant erhöht werden können (zum Beispiel im Vergleich mit dem obenstehen-

den Beispiel (c), wo nur eine Base verwendet wurde). Somit kann die Bildung eines Sediments durch Hinzufügen einer Base in einer sub-stöchiometrischen Menge gefördert/beschleunigt werden (verglichen mit einer normalen Sedimentation von Siliziumpartikeln in unbehandeltem Abwasser) und kann durch zusätzliches Hinzufügen von Diammoniumphosphat (oder einer ähnlichen Komponente, wie einer der in Anspruch 12 genannten Komponenten) weiter gefördert/verstärkt werden.

**[0071]** Das Beispiel (d) wurde durch Hinzufügen von 0,2 mmol/l Natriumhydroxid (durch Hinzufügen einer Natriumhydroxidlösung) und 0,02 mmol/l Diammoniumphosphat zu Abwasser/Probe (a) erhalten. Das erhaltene Gemisch aus Abwasser, Base (in diesem Fall Natriumhydroxid) und Diammoniumphosphat wurde auf einen vorbestimmten Temperaturbereich von etwa 60°C erwärmt und 5 Minuten bei diesem gehalten. Dadurch wurde ein Sediment **5**, das Silizium enthält, gebildet und das Sediment **5** konnte durch Dekantieren vom geklärten Abwasser **3** über dem Sediment abgetrennt werden.

**[0072]** Der erste Laborbecher von rechts in der unteren Reihe von **Fig. 4** enthält ein weiteres Beispiel (d') gemäß der vorliegenden Offenbarung. Das Beispiel (d') wurde auf dieselbe Weise wie Beispiel (d) erhalten und kann als Reproduktion von Beispiel (d) bezeichnet werden.

**[0073]** Für jedes der Beispiele (d) und (d') wurde die Arsenkonzentration im geklärten Abwasser über dem Sediment gemessen und sowohl mit der Arsenkonzentration in der Probe (a) (unbehandeltes Abwasser) wie auch der Arsenkonzentration im geklärten Abwasser von Beispiel (c) verglichen. Dadurch wurde bestimmt, dass die Arsenkonzentration im geklärten Abwasser von Beispielen (d) und (d') geringer war als die Arsenkonzentration im unbehandelten Abwasser und auch geringer als die Arsenkonzentration im geklärten Abwasser von Beispiel (c), so dass offensichtlich ist, dass nicht nur die Siliziummenge im Sediment, sondern auch die Arsenmenge im Sediment durch Hinzufügen von Diammoniumphosphat erhöht werden kann.

**[0074]** **Fig. 11** zeigt schematisch das Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium, das bei Abwasser/Probe (a) angewendet wurde, um die obengenannten Beispiele (d) und (d') zu erhalten. Zunächst wird das Abwasser in einem Behälter bereitgestellt. Das unbehandelte Abwasser bildet eine Dispersion **1** und hat ein dunkles und trübes Aussehen. Anschließend wird dem Abwasser eine Base **7** (zum Beispiel festes Natriumhydroxid oder eine Natriumhydroxidlösung) gemeinsam mit Diammoniumphosphat **9** (oder einer ähnlichen Komponente, wie einer der in Anspruch 12 erwähnten Komponenten) hinzugefügt. Die Base **7** und das Diammoniumphosphat **9** können

dem Abwasser der Reihe nach (d.h., zuerst die Base 7 und dann das Diammoniumphosphat 9 oder umgekehrt) oder gleichzeitig zugegeben werden. Dann wird das erhaltene Gemisch aus Abwasser 1, Base 7 und Diammoniumphosphat 9 für einen Zeitraum auf einen vorbestimmten Temperaturbereich erwärmt und bei diesem gehalten, so dass ein Sediment 5, das Silizium enthält, gebildet wird. Über dem Sediment 5 befindet sich geklärtes Abwasser 3. Das geklärte Abwasser 3 kann zum Beispiel durch Dekantieren aus dem Behälter entfernt werden, wodurch das Sediment und das Abwassers voneinander getrennt werden, so dass nur das Sediment 5, das Silizium (und optional ein oder mehrere Dotierungsmittel, wie Arsen) enthält, im Behälter bleibt.

**[0075]** In der Folge werden weitere Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben.

**[0076]** Ein Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure ( $\text{Si(OH)}_4$ ) substöchiometrisch ist; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0077]** Ein weiteres Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Hinzufügen einer Base zum Abwasser; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich; wobei eine Menge der hinzugefügten Base so eingestellt ist, dass durch Halten des erhaltenen Gemisches aus Abwasser und Base für den Zeitraum im vorbestimmten Temperaturbereich ein Sediment gebildet wird, das zumindest einen Teil einer Gesamtmenge von Silizium enthält, die im Abwasser enthalten ist; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0078]** Ein weiteres Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Hinzufügen einer Base zum Abwasser; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich; wobei eine Menge der hinzugefügten Base so eingestellt ist, dass an Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, daran gehindert wird, vollständig durch die Base aufgelöst zu werden, während das erhaltene Gemisch aus Abwasser und Base für den Zeitraum im vorbestimmten

Temperaturbereich gehalten wird; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0079]** Ein weiteres Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Hinzufügen einer Base zum Abwasser in einer solchen Menge, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, kleiner als oder gleich 2:1, z.B. kleiner als oder gleich 1:1 ist; Halten eines erhaltenen Gemisches der Base und des Abwassers über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0080]** Ein weiteres Verfahren zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser gemäß verschiedenen Ausführungsformen kann enthalten: Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Kaliumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,01 bis 0,05 Mol aufgelöstem Kalziumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Bariumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol Ammonium im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, wobei das aufgelöste Natriumhydroxid teilweise oder vollständig mit einem oder mehreren der folgenden substituiert ist: aufgelöstes Kaliumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1; aufgelöstes Kalziumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2; aufgelöstes Bariumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2 und Ammonium in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1; Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und eines oder mehrerer von dem aufgelösten Natriumhydroxid, dem aufgelösten Kaliumhydroxid, dem aufgelösten Kalziumhydroxid, dem aufgelösten Bariumhydroxid und dem Ammonium über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

**[0081]** In der Folge sind beispielhafte Ausführungsformen beschrieben, wobei diese beispielhaften Ausführungsformen für die oben stehenden fünf Verfahren gelten und mit jedem kombinierbar sind. Ferner ist es möglich, zwei oder mehr oder alle der folgenden beispielhaften Ausführungsformen miteinander zu kombinieren. Darüber hinaus ist es auch möglich,

zwei oder mehr der obenstehenden fünf Verfahren (oder deren Merkmale) miteinander zu kombinieren.

**[0082]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Base eines oder mehrere von Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Kalziumhydroxid, Bariumhydroxid und Ammoniak enthalten. Zum Beispiel können von den Basen Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Kalziumhydroxid und Bariumhydroxid in flüssiger Form (zum Beispiel als Lösung mit Wasser) und/oder in fester Form hinzugefügt werden. Zum Beispiel kann Ammoniak in gasförmiger Form oder in flüssiger Form (zum Beispiel als Lösung mit Wasser) hinzugefügt werden.

**[0083]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Base in Form einer alkalischen Lösung hinzugefügt werden.

**[0084]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die alkalische Lösung ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus einer Natriumhydroxidlösung, einer

**[0085]** Kaliumhydroxidlösung, einer Kalziumhydroxidlösung, einer Bariumhydroxidlösung, einer Ammoniaklösung und Kombinationen davon.

**[0086]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Base dem Abwasser in einer solchen Menge hinzugefügt werden, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base bereitgestellt/gebildet werden, im Abwasser zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, gleich oder kleiner als 1:1 ist. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,9:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,8:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,7:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,6:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,5:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,4:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,3:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,2:1 sein. Zum Beispiel kann das Molverhältnis gleich oder kleiner als 0,1:1 sein.

**[0087]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Base dem Abwasser in einer solchen Menge hinzugefügt werden, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, größer als oder gleich 0,01:1 ist.

**[0088]** Somit kann zum Beispiel die Base dem Abwasser in einer solchen Menge hinzugefügt werden, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitge-

stellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, gleich oder kleiner als 1:1 und größer 0,01:1 ist. Der obere und unter Grenzwert des Molverhältnisses können jedoch auch auf unterschiedliche Weise miteinander kombiniert werden, um zum Beispiel in einem beispielhaften Molverhältnis zu resultieren, das gleich oder kleiner als 0,8:1 und größer als oder gleich 0,01:1 ist.

**[0089]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren ferner ein Bestimmen einer Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, enthalten. Zum Beispiel kann die Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, vor dem Hinzufügen der Base zum Abwasser bestimmt werden. Zum Beispiel kann die Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, durch Messen oder Schätzen der Menge bestimmt werden. Zum Beispiel kann eine Probe aus dem Abwasser genommen werden, eine Siliziummenge, die in der Probe enthalten ist, kann gemessen werden, und die Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, kann anhand der gemessenen Siliziummenge bestimmt werden, die in der Probe enthalten ist. Zum Beispiel kann die Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, direkt in einem Sedimentationsbecken oder Sedimentationsbehälter bestimmt werden, in dem das Abwasser aufgenommen wird. Zum Beispiel kann die bestimmte Siliziummenge, die im Abwasser enthalten ist, zum Bestimmen der Menge der Base verwendet werden, die dem Abwasser hinzugefügt werden soll.

**[0090]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann der vorbestimmte Temperaturbereich gleich oder höher 40°C, zum Beispiel gleich oder höher 45°C, zum Beispiel gleich oder höher 50°C, zum Beispiel gleich oder höher 55°C, zum Beispiel gleich oder höher 60°C sein.

**[0091]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann der vorbestimmte Temperaturbereich kleiner als die Siedetemperatur der Base sein.

**[0092]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann der vorbestimmte Temperaturbereich gleich oder kleiner als 90°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 85°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 80°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 75°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 70°C sein.

**[0093]** So kann ein beispielhafter vorbestimmter Temperaturbereich gleich oder kleiner als 90°C und gleich oder höher 40°C sein, zum Beispiel gleich oder kleiner als 85°C und gleich oder höher 45°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 80°C und gleich oder höher 50°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 75°C und gleich oder höher 55°C, zum Beispiel gleich oder kleiner als 70°C und gleich oder höher 60°C. Der obere und untere Grenzwert des vorbestimmten

Temperaturbereichs können auch auf andere Weise miteinander kombiniert werden, um zum Beispiel in einem beispielhaften vorbestimmten Temperaturbereich zu resultieren, der gleich oder kleiner als 80°C und gleich oder höher 40°C ist.

**[0094]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann der Zeitraum größer als oder gleich 2 Minuten, zum Beispiel größer als oder gleich 3 Minuten, zum Beispiel größer als oder gleich 4 Minuten, zum Beispiel größer als oder gleich 5 Minuten, zum Beispiel größer als oder gleich 6 Minuten sein.

**[0095]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann der Zeitraum kleiner als oder gleich 14 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 12 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 10 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 9 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 8 Minuten sein.

**[0096]** So kann ein beispielhafter Zeitraum kleiner als oder gleich 14 Minuten und größer als oder gleich 2 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 12 Minuten und größer als oder gleich 3 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 10 Minuten und größer als oder gleich 4 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 9 Minuten und größer als oder gleich 5 Minuten, zum Beispiel kleiner als oder gleich 8 Minuten und größer als oder gleich 6 Minuten sein. Der obere und untere Grenzwert des Zeitraums können jedoch auch auf andere Weise miteinander kombiniert werden, zum Beispiel um in einem beispielhaften Zeitraum zu resultieren, der kleiner als oder gleich 10 Minuten und größer als oder gleich 3 Minuten ist.

**[0097]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren ferner ein Mischen (zum Beispiel Rühren) des erhaltenen Gemisches aus Abwasser und Base enthalten, so dass ein homogenes Gemisch und eine gleichmäßig verteilte Base im Abwasser erhalten werden. Zum Beispiel kann das Mischen zwischen dem Hinzufügen der Base und dem Halten des Gemisches im vorbestimmten Temperaturbereich ausgeführt werden und/oder (zumindest vorübergehend) während des Halten des Gemisches im vorbestimmten Temperaturbereich und/oder (zumindest vorübergehend) während des Hinzufügens der Base.

**[0098]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren ferner ein Erwärmen des erhaltenen Gemisches aus Abwasser und Base enthalten, um somit die Temperatur des Gemisches bei dem vorbestimmten Temperaturbereich zu halten und/oder um die Temperatur des Gemisches im vorbestimmten Temperaturbereich zu halten. Die Erwärmung kann ein Zuführen von Wärme von außen ("externe Wärmezufuhr") und/oder eine interne Wärmezufuhr (zum Beispiel in Form einer

Wärme einer Reaktion und/oder Wärme der Lösung) enthalten.

**[0099]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Sediment, das erhalten wird, wenn das Gemisch für den Zeitraum im vorbestimmten Temperaturbereich gehalten wird, zumindest 10 Prozent der gesamten Menge (zum Beispiel angegeben in Mol oder g) Silizium, die anfänglich im Abwasser enthalten ist, enthalten, zum Beispiel zumindest 20 Prozent, zum Beispiel zumindest 30 Prozent, zum Beispiel zumindest 40 Prozent, zum Beispiel zumindest 50 Prozent, zum Beispiel zumindest 60 Prozent, zum Beispiel zumindest 70 Prozent, zum Beispiel zumindest 80 Prozent, zum Beispiel zumindest 90 Prozent.

**[0100]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann ein Trennen des Sediments und des (geklärten) Abwassers voneinander durch Entfernen des Sediments ausgeführt werden, zum Beispiel durch Dekantieren des (geklärten) Abwassers oder durch Ableiten oder Abpumpen des (geklärten) Abwassers über dem Sediment. Zum Beispiel kann das verbleibende Sediment (z.B. der Klärschlamm) weiter verarbeitet werden, zum Beispiel entwässert werden, zum Beispiel mit Hilfe einer Filterpresse.

**[0101]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren ferner ein Hinzufügen einer Komponente zum Abwasser enthalten, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Diammoniumphosphat ( $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ ), Monoammoniumphosphat ( $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ), Ammoniumsulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), Ammoniumhydrogensulfat ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) und Kombinationen davon.

**[0102]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Komponente in einer Menge gleich oder kleiner als 20 Mol%, zum Beispiel gleich oder kleiner als 10 Mol% hinzugefügt werden. Die hinzugefügte Menge der Komponente in Mol % stellt das Molverhältnis der Komponente zum Gemisch aus Abwasser, hinzugefügter Base und hinzugefügter Komponente dar.

**[0103]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann die Komponente in einer Menge gleich oder größer als 5 Mol%, zum Beispiel gleich oder größer als 10 Mol% hinzugefügt werden.

**[0104]** So kann zum Beispiel die Komponente in einer Menge gleich oder größer als 5 Mol% und gleich oder kleiner als 20 Mol% hinzugefügt werden, zum Beispiel gleich oder größer als 5 Mol% und gleich oder kleiner als 10 Mol%, oder zum Beispiel gleich oder größer als 10 Mol% und gleich oder kleiner als 20 Mol%. Der obere und untere Grenzwert der Menge der Komponente können jedoch auch anders sein.

**[0105]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann ein Hinzufügen der Komponente die Bildung des Sediments und/oder die Überführung des Siliziums aus dem Abwasser zum Sediment fördern, wodurch die Sedimentmenge und die im Sediment enthaltene Siliziummenge erhöht werden.

**[0106]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Abwasser aus einer Produktion eines oder mehrerer Chips und/oder aus einer Verarbeitung eines oder mehrerer Wafer stammen. Zum Beispiel kann die Verarbeitung eines oder mehrerer Wafer eines oder mehrere von Schleifen, Polieren (zum Beispiel CMP) und Ausdünnen eines Wafers enthalten.

**[0107]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Abwasser Siliziumpartikel in einer Massenkonzentration gleich oder kleiner als 250 mg pro Liter enthalten, zum Beispiel in einer Massenkonzentration gleich oder kleiner als 200 mg pro Liter, zum Beispiel in einer Massenkonzentration gleich oder kleiner als 150 mg pro Liter, zum Beispiel in einer Massenkonzentration gleich oder kleiner als 100 mg pro Liter (z.B. jeweils bei 20°C).

**[0108]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Abwasser Siliziumpartikel in einer Massenkonzentration von zumindest 10 mg pro Liter enthalten.

**[0109]** So kann das Abwasser zum Beispiel Siliziumpartikel in einer Massenkonzentration von zumindest 10 mg pro Liter und gleich oder kleiner als 250 mg pro Liter enthalten, zum Beispiel zumindest 50 mg pro Liter und gleich oder kleiner als 250 mg pro Liter. Der obere und untere Grenzwert der Konzentration können jedoch auch anders sein.

**[0110]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann eine Größe (zum Beispiel Durchschnittsgröße) von Siliziumpartikeln, die im Abwasser enthalten sind, in einem Sub-Mikrometerbereich sein. Zum Beispiel kann eine durchschnittliche Partikelgröße der Siliziumpartikel gleich oder kleiner als 0,2 Mikrometer sein. Zum Beispiel kann die durchschnittliche Partikelgröße durch ein Laserbeugungsverfahren erhältlich sein.

**[0111]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Abwasser ein Dotierungsmittel enthalten, wobei das Dotierungsmittel zumindest teilweise aus dem Abwasser gemeinsam mit Silizium über das Sediment entfernt wird. Zum Beispiel kann das Dotierungsmittel Arsen sein. Zum Beispiel kann das Sediment, das erhalten wird, indem das Gemisch für den Zeitraum im vorbestimmten Temperaturbereich gehalten wird, zumindest 10 Prozent der gesamten Menge (zum Beispiel angegeben

in Mol oder g) Dotierungsmittel, das anfänglich im Abwasser enthalten ist, enthalten, zum Beispiel zumindest 20 Prozent, zum Beispiel zumindest 30 Prozent, zum Beispiel zumindest 40 Prozent, zum Beispiel zumindest 50 Prozent, zum Beispiel zumindest 60 Prozent, zum Beispiel zumindest 70 Prozent, zum Beispiel zumindest 80 Prozent, zum Beispiel zumindest 90 Prozent.

**[0112]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren unter Verwendung eines Sedimentationsbeckens oder eines Sedimentationsbehälters ausgeführt werden. Zum Beispiel kann das Becken oder der Behälter eine Haltekapazität von zumindest 1m<sup>3</sup>, zum Beispiel zumindest 10m<sup>3</sup>, zum Beispiel zumindest 100m<sup>3</sup> haben.

**[0113]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Verfahren diskontinuierlich ausgeführt werden, zum Beispiel chargenweise (als Chargenprozess).

**[0114]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das partikelförmige Silizium aus dem Abwasser entfernt werden, ohne ein metallisches Salz wie Eisenchlorid zu verwenden oder hinzuzufügen.

**[0115]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Sediment ohne oder bei Fehlen einer Co-Präzipitationsreaktion oder Präzipitationsreaktion gebildet werden.

**[0116]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann eine Bildung des Sediments durch eine chemische Reaktion von zumindest einem Teil des Siliziums (der Partikel), das im Abwasser enthalten ist, mit der Base eingeleitet werden. Zum Beispiel kann die chemische Reaktion von zumindest einem Teil des Siliziums (der Partikel), das im Abwasser enthalten ist, mit der Base eine teilweise basische Oxidation von zumindest einem Teil des Siliziums (der Partikel), das im Abwasser enthalten ist, mit der Base enthalten oder aus dieser bestehen. Zum Beispiel kann auf die chemische Reaktion (z.B. teilweise basische Oxidation) eine Agglomeration von zumindest einem Teil des Siliziums (der Partikel), das mit der Base zur Reaktion gebracht wurde, folgen (z.B. eine Agglomeration zumindest eines Teils der teilweise oxidierten Siliziumpartikel). Zum Beispiel kann die Agglomeration eine Kondensationsreaktion enthalten.

**[0117]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Sediment infolge einer teilweisen basischen Oxidation von zumindest etwas von dem Siliziumpartikel durch die Base (um dadurch teilweise oxidierte Siliziumpartikel zu bilden) und/oder einer Agglomeration zumindest eines Teils

der Siliziumpartikel, die im Abwasser enthalten sind, gebildet werden.

**[0118]** In einer oder mehreren beispielhaften Ausführungsform(en) kann das Sediment teilweise oxidierte Siliziumpartikel enthalten, zum Beispiel Siliziumpartikel, deren Oberfläche (durch einen Angriff von OH<sup>-</sup>-Ionen) oxidiert wurde. Zum Beispiel kann zumindest ein Teil der teilweise oxidierten Siliziumpartikel, die im Sediment enthalten sind, in Form von Agglomerationen vorhanden sein, die teilweise oxidierte Siliziumpartikel enthalten, die zum Beispiel durch eine Kondensationsreaktion agglomeriert sind oder aneinander kleben.

**[0119]** Während verschiedene Aspekte dieser Offenbarung insbesondere dargestellt und unter Bezugnahme auf spezifische Ausführungsformen beschrieben wurden, sollte für Fachleute klar sein, dass verschiedene Änderungen in Form und Einzelheit darin vorgenommen werden können, ohne vom Wesen und Umfang der Offenbarung, wie durch die beiliegenden Ansprüche definiert, abzuweichen. Der Umfang der Offenbarung ist somit durch die beiliegenden Ansprüche angegeben und alle Änderungen im Sinne und Bereich einer Äquivalenz der Ansprüche sollen daher enthalten sein.

### Patentansprüche

1. Verfahren (**100**) zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser, wobei das Verfahren umfasst:

Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, die im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure sub-stöchiometrisch ist (**102**); Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält (**106**); und Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander (**108**).

2. Verfahren (**100**) nach Anspruch 1, wobei die Base eines oder mehrere von Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Kalziumhydroxid, Bariumhydroxid und Ammoniak umfasst.

3. Verfahren (**100**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Base in Form einer alkalischen Lösung hinzugefügt wird, wobei optional die alkalische Lösung ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einer Natriumhydroxidlösung, einer Kaliumhydroxidlösung, einer Kalziumhydroxidlösung, einer Bariumhydroxidlösung, einer Ammoniaklösung und Kombinationen davon.

4. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Base dem Abwasser in einer solchen Menge hinzugefügt wird, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, gleich oder kleiner als 1:1 ist.

5. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Base dem Abwasser in einer solchen Menge hinzugefügt wird, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, größer als oder gleich 0,01:1 ist.

6. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der vorbestimmte Temperaturbereich gleich oder höher als 40°C ist.

7. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der vorbestimmte Temperaturbereich kleiner als die Siedetemperatur der Base ist.

8. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der vorbestimmte Temperaturbereich gleich oder kleiner als 90°C ist.

9. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Zeitraum größer als oder gleich 2 Minuten ist.

10. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Zeitraum kleiner als oder gleich 14 Minuten ist.

11. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Verfahren ferner umfasst: Hinzufügen zum Abwasser einer Komponente, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon, wobei optional die Komponente in einer Menge gleich oder kleiner als 20 Mol% hinzugefügt wird (**104**).

12. Verfahren (**100**) nach Anspruch 11, wobei die Komponente in einer Menge gleich oder größer als 5 Mol% hinzugefügt wird.

13. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Abwasser aus einer Produktion eines oder mehrerer Chips und/oder aus einer Verarbeitung eines oder mehrerer Wafer stammt.

14. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das Abwasser Siliziumpartikel in einer Massenkonzentration gleich oder kleiner als 250 mg pro Liter enthält oder wobei eine Größe von Siliziumpartikeln, die im Abwasser enthalten sind, in einem Sub-Mikrometerbereich ist.

15. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das Sediment bei Fehlen einer Co-Präzipitationsreaktion oder einer Präzipitationsreaktion gebildet wird oder wobei das partikelförmige Silizium aus dem Abwasser ohne Hinzufügen eines metallischen Salzes entfernt wird.

16. Verfahren (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Abwasser ein Dotierungsmittel enthält und wobei das Dotierungsmittel zumindest teilweise aus dem Abwasser gemeinsam mit Silizium durch das Sediment entfernt wird.

17. Verfahren (**100**) zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser, wobei das Verfahren umfasst:

Hinzufügen einer Base zum Abwasser in einer solchen Menge, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, kleiner als oder gleich 2:1 ist;

Halten eines erhaltenen Gemisches der Base und des Abwassers über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und

Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

18. Verfahren (**100**) zum Entfernen von partikelförmigem Silizium aus Abwasser, wobei das Verfahren umfasst:

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Kaliumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder

Bereitstellen von 0,01 bis 0,05 Mol aufgelöstem Kalziumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Bariumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol Ammonium im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, oder

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist, wobei das aufgelöste Natriumhydroxid teilweise oder vollständig mit einem oder mehreren der Folgenden substituiert ist: aufgelöstem Kaliumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1, aufgelöstem Kalziumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2, aufgelöstem Bariumhydroxid in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:2 und Ammonium in einem Molsubstitutionsverhältnis von 1:1;

Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und eines oder mehrerer von dem aufgelösten Natriumhydroxid, dem aufgelösten Kaliumhydroxid, dem

aufgelösten Kalziumhydroxid, dem aufgelösten Bariumhydroxid und dem Ammonium über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bilden kann, das Silizium enthält; und

Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

Figur 1

100

Hinzufügen einer Base zum Abwasser, wobei eine Menge der hinzugefügten Base in Bezug auf eine basische Oxidationsreaktion einer Gesamtmenge von Silizium, das im Abwasser enthalten ist, zu ortho-Kieselsäure sub-stöchiometrisch ist;

102



Hinzufügen einer Komponente zum Abwasser, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Triammoniumphosphat, Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumpolyphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon

104



Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass sich ein Sediment bildet, das Silizium enthält

106



Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander

108

Figur 2

200

Hinzufügen einer Base zum Abwasser in einer solchen Menge, dass ein Molverhältnis von wässrigen Hydroxidionen, die durch die Base im Abwasser bereitgestellt werden, zu Silizium, das im Abwasser enthalten ist, kleiner oder gleich 2:1 ist

202



Hinzufügen einer Komponente zum Abwasser, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Triammoniumphosphat, Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumpolyphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon

204



Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwassers und der Base über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment, das Silizium enthält, bilden kann

206



Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander

208

Figur 3

300

Bereitstellen von 0,02 bis 0,1 Mol aufgelöstem Natriumhydroxid im Abwasser pro Gramm Silizium, das im Abwasser enthalten ist

302



Hinzufügen einer Komponente zum Abwasser, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Triammoniumphosphat, Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Ammoniumpolyphosphat, Ammoniumsulfat, Ammoniumhydrogensulfat und Kombinationen davon

304



Halten eines erhaltenen Gemisches des Abwasser und des aufgelösten Natriumhydroxids über einen Zeitraum in einem vorbestimmten Temperaturbereich, so dass ein Sediment, das Silizium enthält, bilden kann

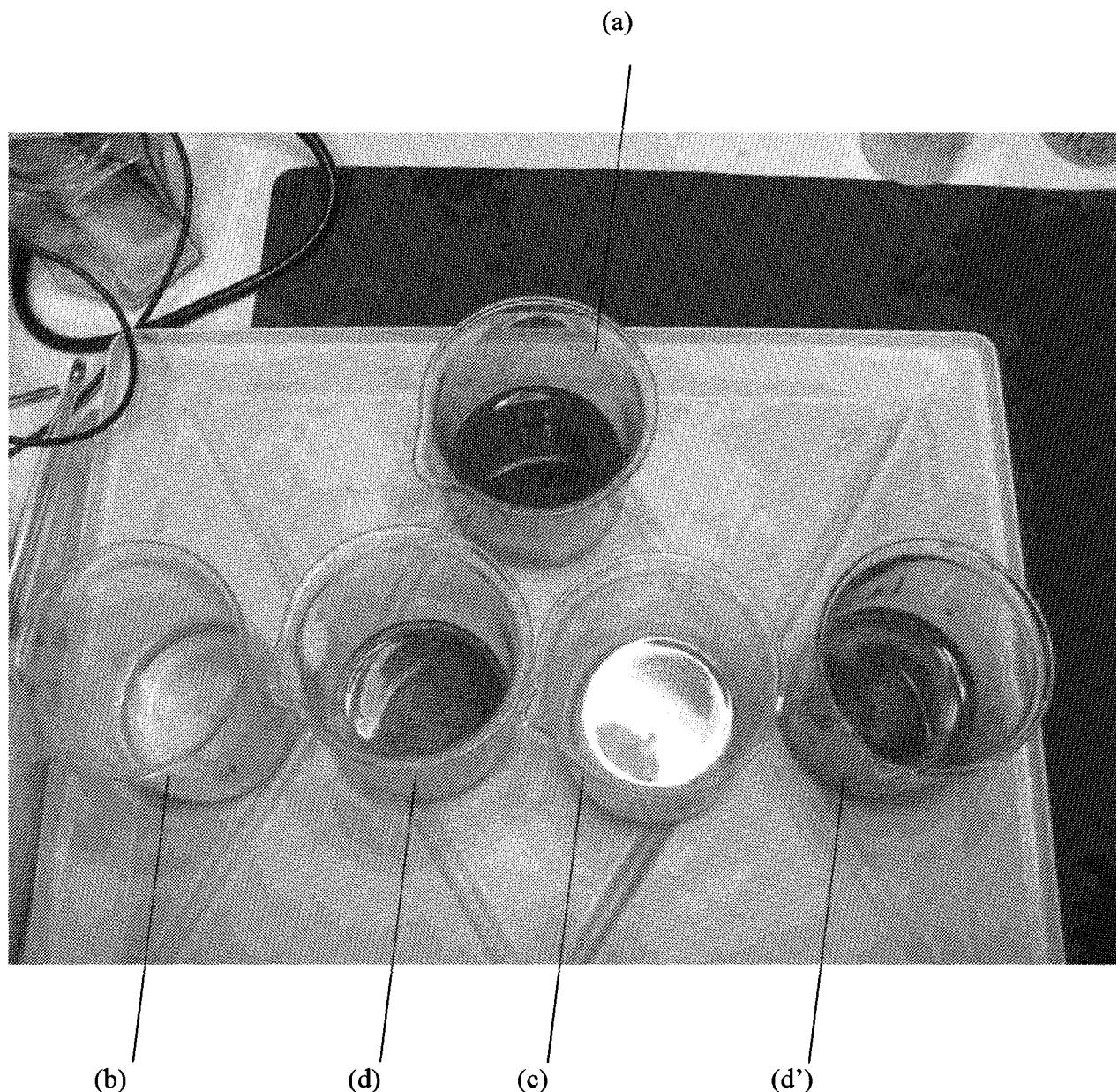
306



Trennen des Sediments und des Abwassers voneinander

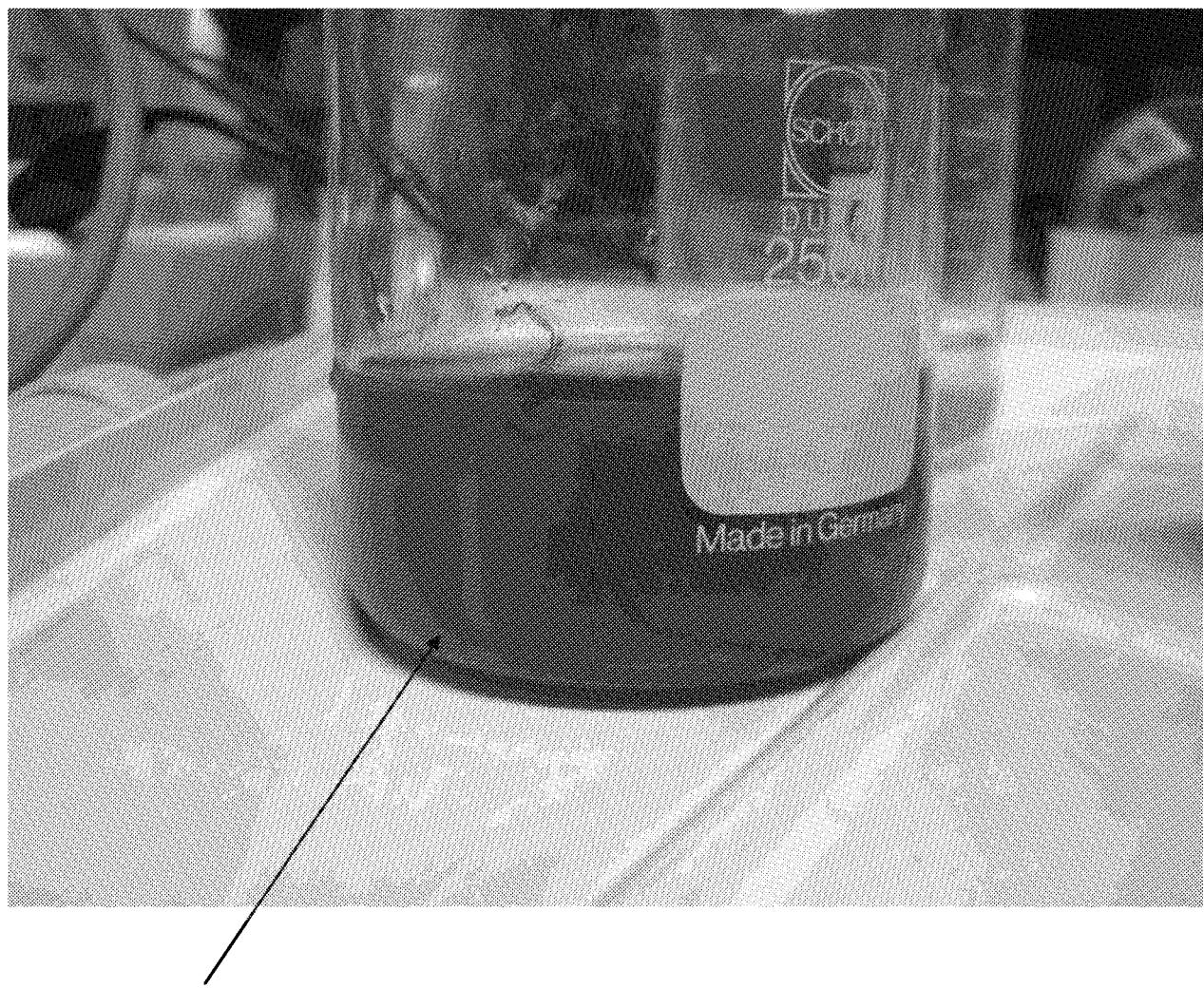
308

Figur 4



Figur 5

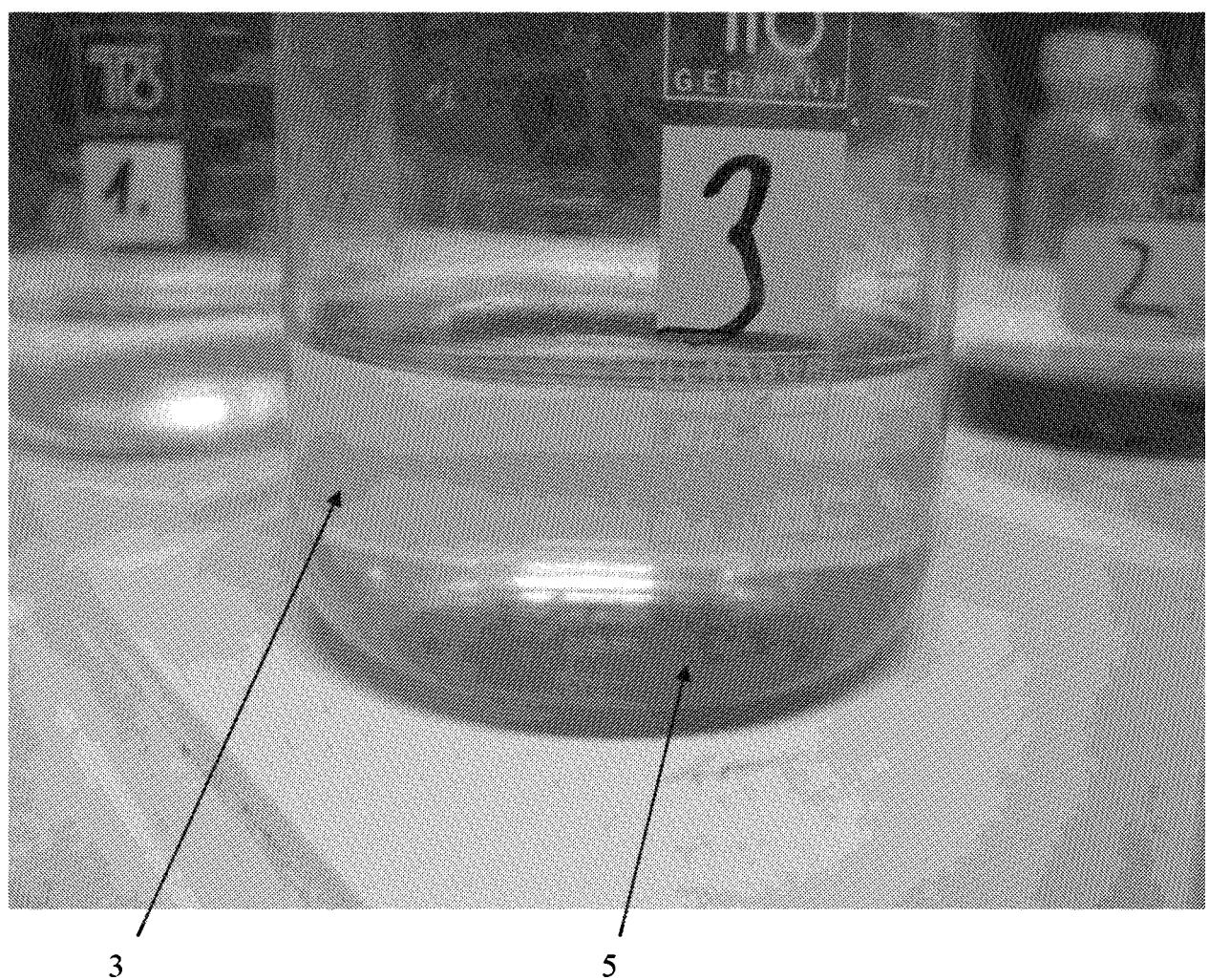
(a)



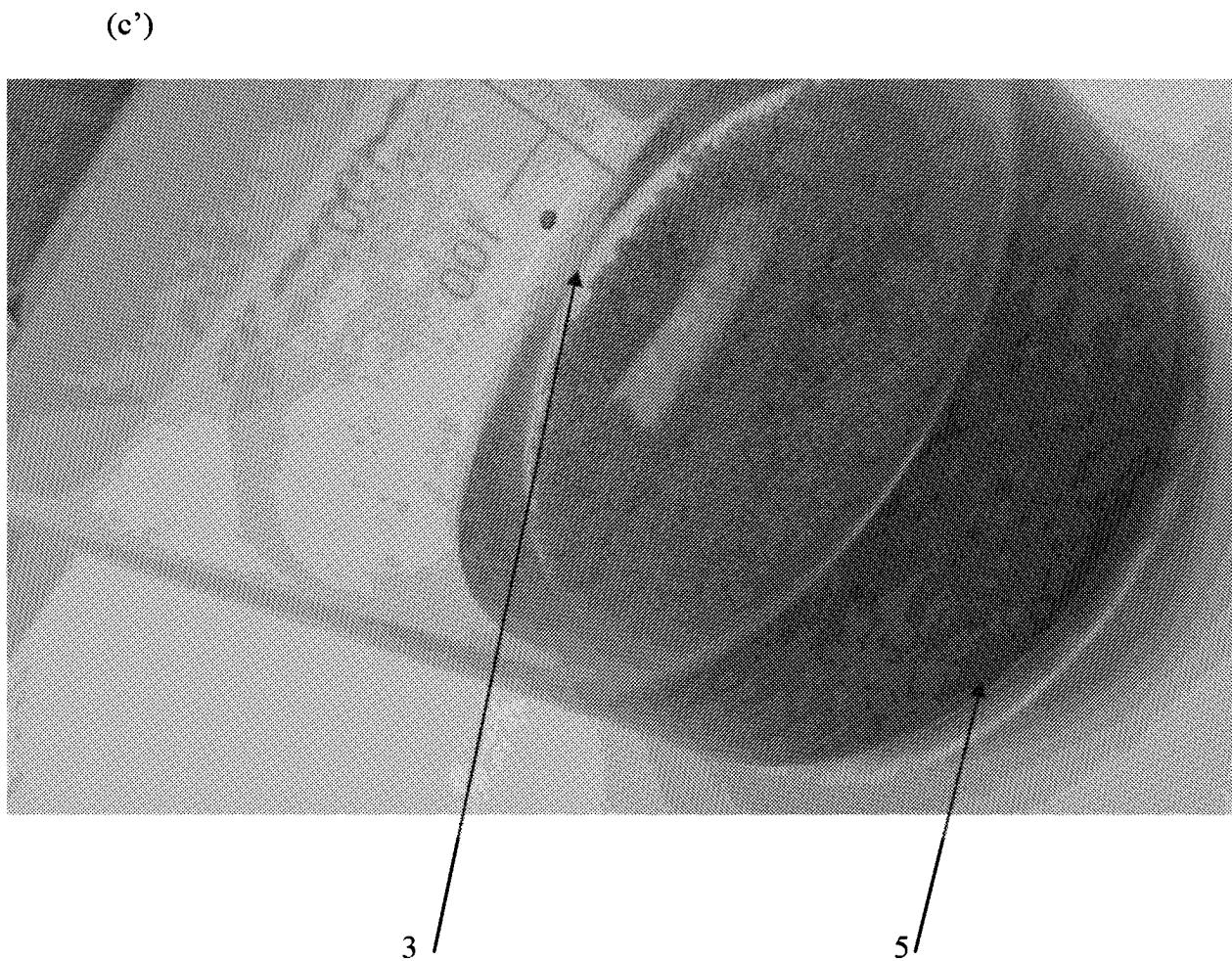
1

Figur 6

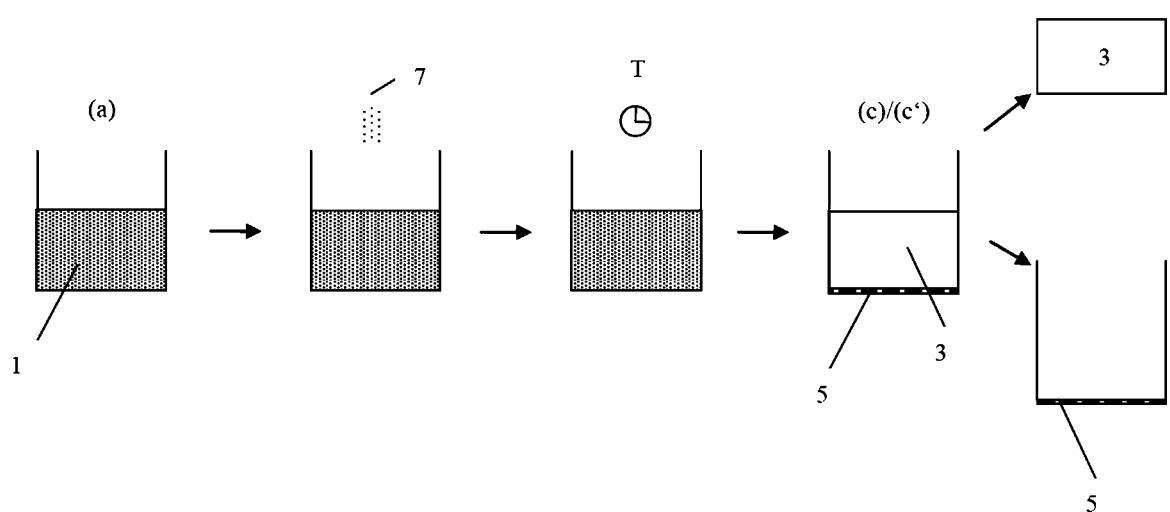
(c)



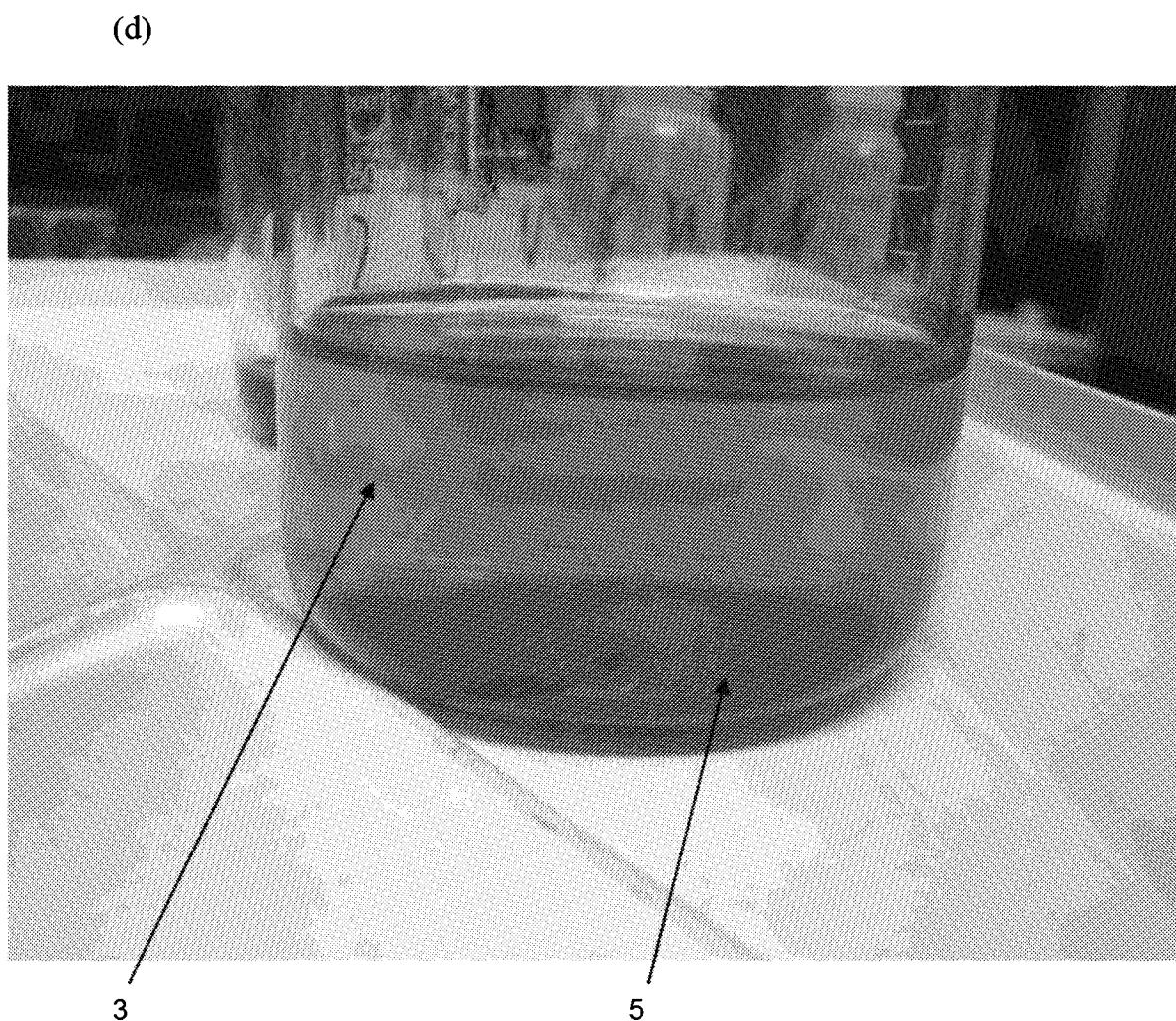
Figur 7



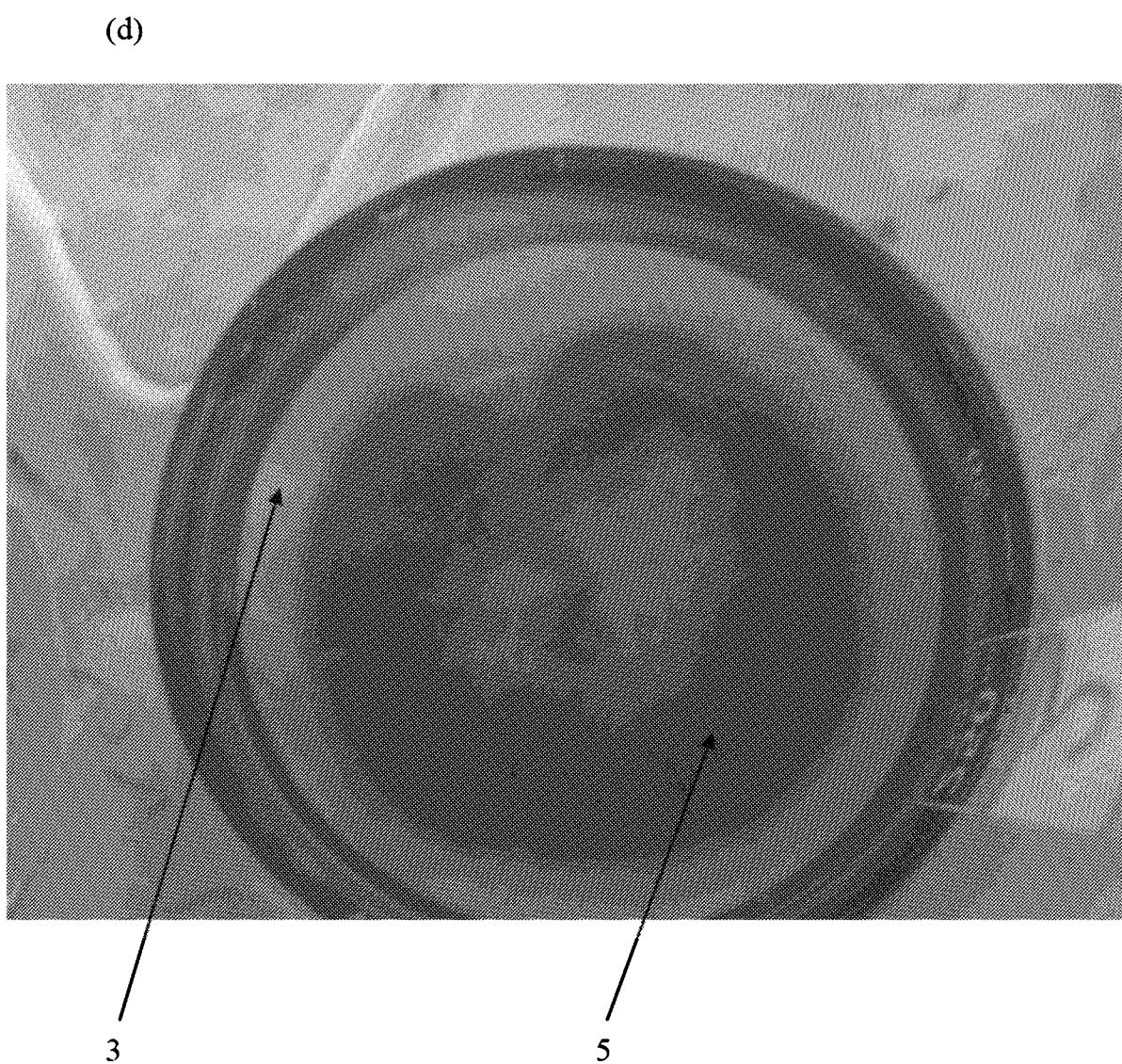
Figur 8



Figur 9



Figur 10



Figur 11

