

DIN EN 62047-1

ICS 01.040.31; 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2014-06-25
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 62047-1:2006-10**Entwurf****Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 1: Begriffe
(IEC 47F/177/CD:2013)**Semiconductor devices –
Micro-electromechanical devices –
Part 1: Terms and definitions
(IEC 47F/177/CD:2013)Dispositifs à semiconducteurs –
Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 1: Termes et définitions
(CEI 47F/177/CD:2013)**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-04-25 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 59 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
3.1 Allgemeine Begriffe	4
3.2 Begriffe zu Wissenschaft und Ingenieurtechnik	5
3.3 Begriffe zur Werkstoffwissenschaft	6
3.4 Begriffe zu Funktionalelementen.....	7
3.5 Begriffe zur Bearbeitungstechnologie	12
3.6 Begriffe zur Aufbau- und Verbindungstechnik.....	19
3.7 Begriffe zur Technologie für die Bewertung	22
3.8 Begriffe zu Anwendungen	23
Anhang A (informativ) Standpunkt und Kriterien bei der Redaktion dieses Wörterverzeichnis.....	27
A.1 Leitfaden zum Auswählen der Begriffe.....	27
A.2 Leitfaden zum Schreiben der Definitionen	27
A.3 Leitfaden zum Schreiben der Anmerkungen	27
Anhang B (informativ) Kreuzverweis der Abschnitte zur ersten Ausgabe von IEC 62047-1.....	28

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/177/CD:2013 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 47F „Micro-electromechanical systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 62047-1:2006-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Haupttitel der DIN-Norm an die zuletzt veröffentlichten Teile der Normenreihe angepasst;
- b) Neu aufgenommen wurden die Begriffe
Elektrobenetzung auf Dielektrika, Haftreibung, CMOS-MEMS-Bauteil, Oberflächenmodifikation, chemisch-mechanisches Polieren, Lasertrennen, überkritisches Trocknen, Atomlagenabscheidung, selbstorganisierende Monoschicht, Nanoprägen, oberflächenaktiviertes Bonden, Silizium-Durchkontaktierung, spektroskopische Ellipsometrie, Power MEMS, Energie-Harvesting;
- c) die Definitionen der Begriffe MEMS, MEMS-Technologie, Mikro-Wissenschaft und -Ingenieurtechnik, mikromechanische Bearbeitung, Ätzstopper, reaktives Ionen-Tiefenätzen sowie Nahfeld-Mikroskop wurden überarbeitet;
- d) neun nicht mehr benötigte Begriffe wurden aus der Norm gestrichen;
- e) die deutsche Sprachfassung wurde redaktionell überarbeitet.

Halbleiterbauelemente – Bauelemente der Mikrosystemtechnik – Teil 1: Begriffe

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der IEC 62047 sind Begriffe für Bauelemente der Mikrosystemtechnik (MST) einschließlich der Fertigungsprozesse für solche Bauelemente festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

KEINE

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Allgemeine Begriffe

3.1.1

Bauelement der Mikrosystemtechnik

MST- Bauelement

Bauelement im Größenbereich von Mikrometern, in welchem Sensoren, Aktoren, mechanische Bauteile und/oder elektrische Schaltungen integriert sind

3.1.2

MEMS

elektromechanische Systeme im Größenbereich von Mikrometern, in welchen Sensoren, Aktoren und/oder elektrische Schaltungen auf einem Chip unter Verwendung mikromechanischer Bearbeitungsprozesse (Mikrostrukturierung/Micromachining) integriert sind

ANMERKUNG MEMS ist ein Akronym für "micro-electromechanical systems". Der Begriff MEMS wird meistens in den USA verwendet. Im Allgemeinen steht dieser Begriff für Technologien zur Herstellung von Mikrostrukturen, Sensoren und Aktoren unter Verwendung mikromechanischer Bearbeitungsprozesse, obwohl dieser Begriff manchmal auch in anderen Bedeutungen verwendet wird.

3.1.3

MST

Technologien unter Anwendung mikromechanischer Bearbeitungsprozesse sowohl zur Herstellung von mikroelektrischen, mikrooptischen und mikromechanischen Systemen als auch zur Herstellung der Bauteile dieser Systeme

ANMERKUNG MST ist ein Akronym für „Mikrosystemtechnik“. Der Begriff MST wird meistens in Europa verwendet.

3.1.4

Mikrobauteil

Mikrosystem

Mikromaschine

miniaturisierte Bauelemente, deren Bauteile in der Baugröße von einigen Millimetern oder auch kleiner sind, oder ein Mikrosystem, welches aus der Integration solcher Bauelemente besteht

ANMERKUNG Der Begriff Mikrobauteil hat eine umfassende Bedeutung von einem funktionalen Bauelement wie einem Sensor, der auf der Mikrosystemtechnik basiert, bis zu einem vollständigen System. Ein Bauteil im molekularen Größenbereich, das als Nanobauteil bezeichnet wird, ist ebenso inbegriffen. Erwartet werden industrielle Anwendungen wie Inspektions- und Reparatursysteme für Röhren oder eng begrenzte Räume und Mikrofabriken, die weniger Energien verbrauchen. Im medizinischen Bereich wird die Ablösung der klassischen Chirurgie durch Mikrobauteile für minimal-invasive Behandlungen innerhalb des menschlichen Körpers erwartet.

3.1.5

MEMS-Technologie

Mikrosystemtechnik

Technologie im Zusammenhang mit MEMS

ANMERKUNG MEMS-basierte Technologien sind äußerst verschiedenartig. Bei den Basistechnologien umfassen die MEMS-Technologien: Entwurf, Werkstoff, Bearbeitung, Funktionsteil, Systemsteuerung, Energieversorgung, Aufbau- und Verbindungstechnik, elektrische Schaltung sowie die Bewertung, aber auch Micro-Wissenschaft und -ingenieurtechnik im Größenbereich von Mikrometern wie zum Beispiel Thermodynamik und Tribologie. MEMS-Technologien haben zwei Seiten: Technologien, die für die Herstellung von MEMS notwendig sind, und Technologien, die notwendig sind, solche technischen Neuentwicklungen in anderen industriellen Bereichen anzuwenden.

3.2 Begriffe zu Wissenschaft und Ingenieurtechnik

3.2.1

Mikro-Wissenschaft und -Ingenieurtechnik

Wissenschaft und Ingenieurtechnik hinsichtlich der mikroskopischen Größenbereiche von MEMS

ANMERKUNG Wenn mechanische Systeme miniaturisiert werden, ändern sich verschiedene physikalische Kenngrößen. Zwei Fälle sind vorherrschend: 1) Diese Änderungen können auf Basis einer Extrapolation der Änderungen im Makrobereich prognostiziert werden, und 2) die Besonderheiten im mikroskopischen Bereich überwiegen, sodass eine Extrapolation unmöglich ist. Im letzteren Fall ist es notwendig, neue theoretische und empirisch begründete Gleichungen zur Erklärung der Phänomene im mikroskopischen Bereich zu erarbeiten. Außerdem müssen neue Analyse- und Syntheseverfahren entwickelt werden, um ingenieurtechnische Probleme zu behandeln. Werkstoffwissenschaft, Fluidodynamik, Thermodynamik, Tribologie, Steuer- und Regelungstechnik sowie Kinematik können als Mikro-Wissenschaften Natur- und -Ingenieurtechniken systematisiert werden, um die Mikrosystemtechnik theoretisch zu untermauern.

3.2.2

Skalierungseffekt

Maßstabseinfluss

Änderungen verschiedener Auswirkungen des Verhaltens oder der Eigenschaften eines Objekts, welche durch die Änderung der Abmessungen des Objekts verursacht werden

ANMERKUNG Das Volumen eines Körpers ist zur dritten Potenz seiner Abmessungen proportional, während die Oberfläche zur zweiten Potenz proportional ist. Deshalb werden im mikroskopischen Bereich die Oberflächenkräfte größer als die Massekräfte sein. Zum Beispiel ist beim Bewegen eines mikroskopisch kleinen Körpers die vorherrschende Kraft die elektrostatische Kraft oder die Reibungskraft und nicht die Schwerkraft. Werkstoffeigenschaften mikroskopischer Körper werden ebenfalls durch die inneren Werkstoffstrukturen und die Oberfläche beeinflusst, sodass charakteristische Kennwerte manchmal unterschiedlich zu denen großer Körper sind. Auch die Reibungseigenschaften im mikroskopischen Bereich unterscheiden sich von denen im makroskopischen Bereich. Aus diesen Gründen müssen diese Effekte beim Entwurf von Mikrosystemen berücksichtigt werden.

3.2.3

Mikrotribologie

Tribologie hinsichtlich des mikroskopischen Größenbereichs von Mikrobauteilen

ANMERKUNG Tribologie handelt von der Reibung und dem Verschleiß im makroskopischen Bereich. Wenn aber die Abmessungen von Bestandteilen wie in den Mikrosystemen extrem klein werden, dann dominieren die Oberflächen- und Reibungskräfte gegenüber den Gravitations- und Trägheitskräften. Nach dem Coulombschen Reibungsgesetz ist die Reibungskraft proportional zur Normalkraft. Unter den Verhältnissen von Mikrosystemen tritt infolge der Wechselwirkungen zwischen den Oberflächenkräften eine derart große Reibungskraft auf, die sonst unter üblichen Größenverhältnissen vernachlässigbar sein würde. Außerdem können sehr kleine Mengen von Abrieb die Mikrosysteme schwer schädigen, während das unter üblichen Größenverhältnissen vernachlässigbar sein würde. In der mikrotribologischen Forschung ver-

sucht man, Reibungskräfte zu reduzieren oder reibungslose Zustände zu entdecken sogar auf atomarem Niveau. In diesem Forschungsgebiet werden Phänomene, die bei Reibungs- oder Festoberflächen im Größenbereich von Angström bis Nanometer auftreten, untersucht oder Wechselwirkungsanalysen auf atomarem Niveau durchgeführt. Von diesen Forschungsansätzen wird erwartet, sie beim Lösen tribologischer Probleme sowohl unter üblichen Verhältnissen als auch denen von Mikrosystemen anzuwenden.

3.2.4

Biomimetik

Erzeugen von Funktionen, welche die Bewegungen oder Mechanismen von Organismen nachahmt

ANMERKUNG Beim Suchen nach mikroskopischen Mechanismen, welche für Mikrobauerteile geeignet sind, dürfen die Mechanismen und Strukturen von Lebewesen als gute Nachahmungsbeispiele genommen werden, welche die strengen Selektionskriterien der Natur überlebten. Ein Beispiel ist die mikroskopische dreidimensionale Struktur, welche in Anlehnung an die Außenskelette und elastischen Koppelsysteme von Insekten modelliert wurde. Bei den Außenskeletten ist die harte Epidermis mit einem elastischen Körper verbunden und alle beweglichen Teile verwenden die Deformation des elastischen Körpers zum Bewegen. Die Anwendung der elastischen Deformation würde im mikroskopischen Bereich wegen des Vermeidens von Reibungen vorteilhaft sein. Die Struktur der Außenskelette ist außerdem einem engen Verbundmechanismus in der Kinematik gleichzusetzen und hat die Eigenschaft, dass irgendeine Aktorenbewegung mehrfach gekoppelt übertragen werden kann.

3.2.5

Selbstorganisation

Organisation eines Systems ohne äußere Beeinflussung oder Steuerung, wobei spontan eine nicht im Gleichgewicht befindliche Struktur entsteht, und zwar infolge der kollektiven Wechselwirkungen von einer Anzahl einfacher mikroskopischer Objekte oder Phänomene

3.2.6

Elektrobenetzung auf Dielektrika

EWOD (en: electro-wetting on dielectrics)

Benetzung auf einem Substrat, die Benetzung mithilfe einer elektrischen Spannung zwischen einem Tröpfchen und dem Substrat, das mit einer dielektrischen Schicht bedeckt ist, gesteuert wird

ANMERKUNG Der Kontaktwinkel des Tröpfchens einer Flüssigkeit, die üblicherweise ein Elektrolyt ist, auf einem Substrat kann elektrisch gesteuert werden, weil die Grenzspannung zwischen Flüssigkeit und Festkörper mit der Energie gesteuert werden kann, die in der elektrischen Doppelschicht, welche wie ein Kondensator wirkt, gespeichert ist. Beim Beschichten der Elektrode mit einem dielektrischen Werkstoff einer bestimmten Dicke kann die Kapazität leicht bestimmt werden. Das wird üblicherweise in mikrofluidischen Bauelementen verwendet.

3.2.7

Haftreibung

Phänomen, bei dem eine sich bewegende Mikrostruktur durch eine andere Struktur oder ein Substrat infolge der Adhäsionskräfte festgehalten wird

ANMERKUNG Wenn die Strukturen kleiner werden, wird wegen des Skalierungseffektes die Haftreibung signifikant, da dann die Oberflächenkräfte gegenüber den Massekräften dominieren. Haftreibung tritt häufig in MEMS-Herstellungsprozessen infolge der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten auf, wenn kleine Strukturen beim Nassätzverfahren freigestellt werden. Charakteristische Adhäsionskräfte, die eine Haftreibung verursachen, sind die van-der-Waals-Kraft, die elektrostatische Kraft und die Oberflächengrenzspannung von Flüssigkeiten zwischen Strukturelementen.

3.3 Begriffe zur Werkstoffwissenschaft

3.3.1

Silizium auf Isolator

SOI (en: Silicon-on-Insulator)

Struktur, die aus einer dünnen Siliziumschicht auf einem Isolator besteht

ANMERKUNG Saphir (wie in SOS), Glas (wie in SOG) Siliziumdioxid, Siliziumnitrid und selbst die isolierende Form von Silizium werden als Isolator verwendet.

3.4 Begriffe zu Funktionalelementen

3.4.1

Aktor

<Bauelemente der Mikrosystemtechnik> mechanisches Bauelement, das verschiedene Energiearten, wie elektrische oder chemische Energie, in kinetische Energie wandelt, um mechanische Arbeit zu leisten

ANMERKUNG Damit ein Mikrosystem mechanische Arbeit leisten kann, ist der Mikroaktor als ein grundlegender Bestandteil unerlässlich. Wichtige Beispiele sind der elektrostatische Aktor, der mithilfe der Siliziumtechnologie hergestellt wird, der piezoelektrische Aktor, in welchem funktionale Werkstoffe wie PZT (Bleizirkonat-Titanat) verwendet werden, der pneumatische Gummi-Aktor und andere. Viele andere Aktoren, die auf unterschiedlichen Prinzipien der Energiewandlung basieren, sind untersucht und entwickelt worden. Allerdings verschlechtern alle diese Aktoren den Wirkungsgrad ihrer Energiewandlung in der Weise, wie ihre (geometrische) Baugröße reduziert wird. Demzufolge werden Bewegungsmechanismen wie die Deformation von Proteinmolekülen, die Ziliarbewegung von Bakterien und Muskelkontraktion genutzt, um neue Aktoren für Mikrosysteme zu entwickeln.

3.4.2

Mikroaktor

Aktor, welcher mittels mikromechanischer Bearbeitungsverfahren hergestellt wird

ANMERKUNG Beispielsweise werden elektrostatische Mikroaktoren über das mikro-elektrostatische Feld angeregt, magnetische Mikroaktoren werden durch das mikro-magnetische Feld gesteuert und piezoelektrische Mikroaktoren hängen vom Mikrofeld der mechanischen Spannung ab, um Bewegung und Energie zu überführen.

3.4.3

lichtgesteuerter Aktor

Aktor, bei dem Licht als Steuergröße oder Energiequelle verwendet wird

ANMERKUNG Nachdem fotostriktive Werkstoffe entwickelt worden waren, wurden verschiedene lichtgesteuerte Aktoren vorgeschlagen. Diese Aktoren haben einfache Bauweisen und können drahtlos betrieben werden. Es wurde ein Motor vorgeschlagen, der den Effekt der Spin-Umorientierung (Spin-Realignment) nutzt, bei welchem ein magnetischer Werkstoff Licht absorbiert und die daraus resultierende Wärme die magnetische Richtung reversibel ändert. Aktoren, welche die thermische Ausdehnung verwenden oder fotochemische Reaktionen von Polymeren nutzen, werden auch untersucht.

3.4.4

piezoelektrischer Aktor

Aktor, bei dem ein piezoelektrischer Werkstoff verwendet wird

ANMERKUNG Piezoelektrische Aktoren werden als einschichtig (Single-Plate), bimorph oder mehrschichtig (Stack, Multilayer) klassifiziert, dabei ist der allgemein übliche Werkstoff Bleizirkonat-Titanat (PZT). Die Eigenschaften sind: 1) kurze Reaktionszeit, 2) große Ausgangskraft bezogen auf das Volumen, 3) leichte Miniaturisierung wegen der einfachen Bauweise, 4) enger Versetzungsbereich für leichtere Steuerung von Mikroversetzungen und 5) hoher Wirkungsgrad bei der Energiewandlung. Piezoelektrische Aktoren werden für Aktoren in Mikrobauteilen verwendet wie zum Beispiel in Ultraschallmotoren, Mikro-Versetzungsstufen, Lüfter, Pumpen und Lautsprecher. Ein angewandtes Beispiel ist ein piezoelektrischer Aktor für den Transportmechanismus, welcher durch die Resonanzschwingung eines piezoelektrischen bimorphen Aktors bewegt wird, oder ein piezoelektrischer Mikro-Positionier-Aktor, welcher die Versetzungen eines piezoelektrischen Stack-Bauelements mittels eines Hebels verstärkt.

3.4.5

Formgedächtnislegierungs-Aktor

Formgedächtnis-Aktor

Aktor, bei dem eine Formgedächtnis-Legierung verwendet wird

ANMERKUNG Aktoren auf Basis von Formgedächtnis-Legierungen sind kompakt, leicht und erzeugen große Kräfte. Die Aktoren können entweder wiederholbar mittels Temperaturzyklen gesteuert werden oder sie können beliebig gesteuert werden, indem der elektrische Strom, der durch den Aktor selber fließt, geschaltet wird. In jüngster Vergangenheit wurden Untersuchungen durchgeführt, um Legierungen zum Bau eines Servosystems zu nutzen, welches einen entsprechenden Rückkopplungsmechanismus und eine Kühleinrichtung hat, gedacht für Anwendungen ist, bei denen

schnelle Reaktionszeiten nicht erforderlich sind. Anwendungsbeispiele in der Entwicklung sind Mikro-Greifer zum Manipulieren von Zellen, Mikroventile zum Regeln kleiner Flussmengen und aktive Endoskope für den medizinischen Einsatz.

3.4.6

Sol/Gel-Aktor

Sol/Gel-prozessgesteuerter Aktor

Aktor, bei dem der Übergang zwischen den Zuständen Sol (flüssig) und Gel (fest) angewendet wird

ANMERKUNG Ein Sol/Gel-Aktor kann ähnlich wie Lebewesen arbeiten. Wenn zum Beispiel Elektroden auf kleinen Partikeln aus Natrium-Polyakrylat-Gel in einer elektrolytischen Lösung aufgesetzt werden und eine elektrische Spannung angelegt wird, dann ändern die Partikel wiederholbar ihre Form. Die Partikel können in einer Reihe verbunden in einer dünnen Röhre eingebracht werden und dabei mehrfache Beinchen ergeben, um einen Mikroroboter zu ermöglichen, der sich wie ein Tausendfüßler aussehend in einer Richtung bewegt. Eine andere denkbare Anwendung ist ein schwimmender Mikroroboter, der sich automatisch in einer dünnen Röhre bewegt.

3.4.7

elektrostatischer Aktor

Aktor, bei dem die elektrostatische Kraft verwendet wird

ANMERKUNG Weil der elektrostatische Aktor eine einfache Bauweise hat und seine auf das Gewicht bezogene abgegebene Kraft in dem Maße steigt, wie die geometrische Baugröße reduziert wird, laufen viele Forschungsarbeiten, um ihn als den Aktor von Mikrosystemen einzusetzen. Anwendungsbeispiele, die bisher auf experimenteller Basis entwickelt wurden, schließen einen Wobbel-Motor, einen elektrostatischen (Dünnschicht-) Aktor usw. ein.

3.4.8

Kamm-Antrieb

elektrostatischer Aktor, bestehend aus Reihen in fester Position gehaltener paralleler Zungen, welche eingerückt und verzahnt werden in eine zweite Reihe beweglicher Zungen

ANMERKUNG Aufbringen einer elektrostatischen Ladung auf die erste Reihe wirkt auf die Zungen der zweiten Reihe so, dass diese voll in die Zungenzwischenräume der ersten Reihe gezogen werden. Wenn dann die statische Ladung entfernt und abgeleitet wird, bewegt sich die zweite Reihe infolge einer mikro-mechanischen Federspannung in ihre Ausgangsposition zurück.

3.4.9

Wobbel-Motor

elektrostatischer Motor mit einem variablen Spalt, welcher eine drehende Rotorbewegung auf einem exzentrischen Stator ohne Schlupf erzeugt

ANMERKUNG Wobbel-Motoren werden auch harmonische elektrostatische Motoren genannt. Diese Motoren bestehen aus einem Rotor, einem Stator mit Elektroden zur Erzeugung der elektrostatischen Kraft und einer Isolatorschicht auf der Rotor- bzw. Statoroberfläche. Der Rotor rotiert in umgekehrter Richtung zur Drehbewegung. Die Rotationsgeschwindigkeit V_{rot} ist gegeben als $V_{\text{rot}} = V_{\text{rev}} \times (L_{\text{stat}} - L_{\text{rot}}) / L_{\text{rot}}$. Dabei ist V_{rev} die Umdrehungsgeschwindigkeit, L_{stat} ist der Statorumfang und L_{rot} ist der Rotorumfang. Merkmale des Wobbel-Motors sind 1) die Fähigkeit, leicht eine kleine Geschwindigkeit und ein großes Drehmoment zu erzeugen, wenn der Rotorumfang etwa gleich dem Statorumfang ist, 2) keine Reibungs- und Verschleißprobleme, weil es keine beweglichen Teile gibt, 3) die Möglichkeit, unterschiedliche Werkstoffe einzusetzen, 4) ein leicht vergrößerbare Aspektverhältnis. Andererseits kann die Drehbewegung des Rotors ungewünschte Schwingungen verursachen. Fertigungsbeispiele sind ein Wobbel-Motor, welcher den Rotor mit einer flexiblen Kupplung unterstützt, und ein Wobbel-Motor, welcher mit einem Fertigungsverfahren für integrierte Schaltungen hergestellt wurde und dessen Rotor sich auf dem Drehlager dreht.

3.4.10

Mikrosensor

Bauelement, das mittels mikromechanischer Bearbeitungsverfahren hergestellt wird und das zum Messen physikalischer oder chemischer Größen verwendet wird

ANMERKUNG In Mikrobautteilen ist der erste zu entwickelnde und zu realisierende Bestandteil die des Mikrosensors. Mikrosensoren umfassen Sensoren mechanischer Größen (Messen von Druck, Beschleunigung, Abtastung, Auslenkung usw.), Sensoren chemischer Größen (Messen von Ionen, Sauerstoff usw.), Sensoren elektrischer Größen (Messen von

Magnetismus, Strom usw.), Biosensoren und optische Sensoren. In vielen Mikrosensoren ist die Detektorkomponente einschließlich des Mechanismus mit der elektronischen Schaltung integriert. Die Vorteile der Mikrosensoren sind: 1) geringere Umweltbelastungen, 2) die Fähigkeit, lokale Zustände innerhalb kleiner geometrischer Bereiche zu messen, 3) Integration mit Schaltungen und 4) geringe Verlustleistungen.

3.4.11

Biosensor

Sensor, bei welchem organische Substanzen innerhalb des Bauelements verwendet werden, mit denen man Messungen an Subsystemen von Organismen durchführen oder einen Organismus nachahmen kann

ANMERKUNG Ein üblicher Biosensor besteht aus dem biologisch erzeugten spezifischen Material, zum Beispiel einem Enzym oder einem Antikörper, welches das Messobjekt erkennt, und der Bauelementkomponente, welche eine physikalische oder chemische Größenänderung hinsichtlich der erkannten Reaktion misst. Ein Halbleitersensor oder irgendeine der unterschiedlichen Elektrodenarten (z. B. ISFET, Mikro-Oxygen-Elektrode oder fluoreszierender optischer Detektor-sensor), welche mittels mikromechanischer Siliziumtechnologie hergestellt werden, können als diese Bauelemente verwendet werden. Eingesetzt werden Biosensoren in Blut-Analysesystemen, Glukosewert-Sensoren, Mikrorobotern usw.

3.4.12

integrierte Mikrosonde

aus einem Stück bestehende Sonde, die sowohl eine Mikrosonde als auch eine Signalverarbeitungs-Schaltung enthält

ANMERKUNG Je kleiner der empfindliche Teil des Sensors, umso 1) kleinere Interferenzen des Messobjekts, 2) höhere Signal-Rausch-Verhältnisse bei der Messung und 3) mehr lokale Kleinfeld-Daten können gewonnen werden. Eine integrierte Mikrosonde ist ein Bauelement, das sowohl aus einer Signalverarbeitungs-Schaltung als auch aus einer Mikrosonde besteht und das aus Silizium mittels einer mikromechanischen Bearbeitung zu einer ultra-mikroskopischen Nadel hergestellt wird. Integrierte Mikrosonden mit mikrobearbeiteten Siliziumnadeln, deren Durchmesser von einigen Nanometern bis einigen Mikrometern reicht und die mit einer Impedanzwandler-Schaltung usw. kombiniert sind, werden gegenwärtig als mikroskopische Elektroden für Organismen, Raster-Tunnel-Mikroskope (STM; en: scanning tunneling microscope) und Atomkraft-Mikroskope (AFM; en: atomic force microscope) eingesetzt.

3.4.13

ionensensitiver Feldeffekt-Transistor

ISFET

Halbleitersensor, bei dem eine ionenempfindliche Elektrode mit einem Feldeffekt-Transistor (FET) integriert ist

ANMERKUNG In dem ionensensitiven Elektrodenteil ändert sich zum Beispiel die elektrische Spannung der Membran in Abhängigkeit von den Schwankungen des pH-Wertes oder des Kohlendioxid-Partialdruckes im Blut. Wie der Spannungsverstärker verwendet der ISFET einen FET, also einen Transistor, bei dem die Leitfähigkeit im aktuellen Pfad (Kanäle) durch die Majoritäts-Träger gebildet und durch ein elektrisches Feld im rechten Winkel zum Ladungsträgerfluss gesteuert wird. Der ISFET basiert auf einem in Silizium-Mikrotechnologie hergestellten integrierten Detektor und Verstärker auf einem Siliziumsubstrat. Zusätzlich wurde ein ISFET mit mikromechanischen Bestandteilen wie einem Ventil entwickelt. Der ISFET wird zum Beispiel in Bereichen der medizinischen Analytik und Umwelttechnik eingesetzt.

3.4.14

Beschleunigungsmesser

Akzelerometer

Wandler, der eine Beschleunigung als Eingangsgröße in eine (üblicherweise elektrische) Ausgangsgröße transformiert, die proportional zur Beschleunigung am Eingang ist

[ISO 2041:1990]¹

ANMERKUNG Dieser Beschleunigungsmesser, basierend auf einer mikromechanischen Siliziumtechnik, besteht üblicherweise aus einer weichen Feder (kleine Federkonstante) und einer Massekomponente. Der Beschleunigungsmesser erfasst die Auslenkung der Feder, welche durch die Trägheit der beschleunigten Masse verursacht wird, oder ermittelt die Beschleunigung über eine Messung der Kraft, welche erforderlich ist, um die Auslenkung zu kompensieren. Unter den gegenwärtig siliziumbasierten Sensoren sind die Beschleunigungsmesser eine wesentliche Perspektive für Produkte der

¹ ISO 2041:1990, *Vibration and shock – Vocabulary*

nächsten Generation. Es gibt viele Arten von Beschleunigungsmessern wie Halbleiter-Dehnungsmesser, kapazitive Detektoren, elektromagnetische Servosysteme und elektrostatische Servosysteme. Bauarten von Vibrationsdetektoren, welche Änderungen in Resonanzfrequenzen ermitteln, und piezoelektrische Bauarten, bei denen der piezoelektrische Effekt verwendet wird, werden zusätzlich entwickelt. Die Weiterentwicklung zielt auf breiteste Anwendungsbereiche einschließlich des Automobilbaus, der Robotik und der Weltraumtechnik.

3.4.15

Mikrogyroskop

mikroskopisch kleiner Sensor zum Messen der Winkelgeschwindigkeit

ANMERKUNG Von Mikrogyroskopen wird erwartet, als Stellsensoren bei Mikrorobotern eingesetzt zu werden. Dreh- und Schwing-Gyroskope basieren auf der Corioliskraft. Ringlaser- und Faseroptik-Gyroskope basieren auf dem Sagnac-Effekt. Unter diesen Gyroskop-Bauarten sind die Schwing-Gyroskope (die Stimmgabel- und Resonanzstab-Bauarten) für die Miniaturisierung geeignet und deshalb sind sie für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik in der Entwicklung.

3.4.16

Membranstruktur

Membran

flexible Häutchenstruktur, die den Raum teilt

ANMERKUNG Im mikroskopischen Größenbereich werden für die Membranstruktur solche Werkstoffe wie Einkristall-Silizium, Polysilizium usw. verwendet. Die Struktur wird üblicherweise durch anisotropes Ätzen hergestellt. Die Dicke der Struktur kann von der Anwendung abhängig gewählt werden, und zwar von einigen Mikrometern bis zum Mehrfachen von zehn Mikrometern. Die Struktur kann eingesetzt werden, um Druckänderungen zu erkennen oder Versetzungen zu bewirken. Zum Beispiel wird sie im druckempfindlichen Teil eines Drucksensors für Automotoren verwendet. Ebenso wird sie als eine Membrane verwendet, um den Druck in Mikroventilen und Mikropumpen zu ändern.

3.4.17

Mikrocantilever

Cantilever, welcher mittels mikromechanischer Bearbeitungsprozesse hergestellt wird

ANMERKUNG Mikrocantilever werden oft in hochauflösenden Mikroskopen wie Raster-Kraft-Mikroskopen (AFM, en: atomic force microscope) eingesetzt.

3.4.18

Mikrokanal

Kanal, welcher mittels mikromechanischer Bearbeitungsprozesse hergestellt wird

ANMERKUNG Mikrokanäle werden oft in Fluid-Bauelementen wie einem Lab-on-Chip-Bauteil verwendet. Der Fluss in einem Mikrokanal ist anders als der in einem Makrokanal und die mathematische Beschreibung des Flusses ist eine der Schlüsselgrößen in der Mikrowissenschaft und -technik. Ein Mikrokanal kann als eine akustische Leitung verwendet werden.

3.4.19

Mikrospiegel

reflektierender Spiegel im Mikrometerbereich, der bewegt werden kann, um seinen Reflexionswinkel zu steuern

3.4.20

(Mikro-)Scannerspiegel

Spiegel, der einen Lichtstrahl zum Abtasten gleiten lässt

ANMERKUNG Scannerspiegel werden für Laserdrucker, die Scannerteile von optischen Sensoren, den Leseköpfen für optische Laufwerke, Displays usw. entwickelt. Ein Scannerspiegel-Array kann zusammen mit dem Aktor mithilfe eines Mikrobearbeitungsverfahrens hergestellt werden. Vom Scannerspiegel wird erwartet, eine der praktischen Anwendungen der Mikrosystemtechnik zu sein.

3.4.21

Mikroschalter

Schalter, der mittels mikromechanischer Bearbeitungsverfahren hergestellt wird

ANMERKUNG 1 Der Begriff "Mikroschalter" wird bereits für kommerziell verfügbare Schalter benutzt, die mithilfe herkömmlicher Technologien hergestellt werden.

ANMERKUNG 2 Hauptanwendungsbereich von Mikroschaltern sind Mikrorelais.

3.4.22

optischer Schalter

optisches Bauteil zum Schalten optischer Signale, ohne diese in elektrische Signale zu wandeln

3.4.23

Mikrogreifer

Mikrogripper

mechanisches Bauelement zum Greifen mikroskopisch kleiner Objekte

ANMERKUNG Mikrogreifer haben zwei Anwendungsaspekte. Einerseits können sie als Werkzeuge zur Montage von Mikromaschinen oder als Greifer von Mikrorobotern usw. verwendet werden. Andererseits hat der Mikrogreifer Finger zum Greifen von Objekten und einen Aktor, um mit ihnen zu hantieren. Verglichen mit einer Mikroroboterhand sind Mikrogreifer zwar konstruktiv strukturell groß, aber sie erfordern eine genaue Steuerung. Obwohl die Funktion des Mikrogreifers einfach das Greifen eines Objekts ist, erfordern mehrfache Freiheitsgrade im Handling die Kombination von geeigneten Manipulatoren. Verglichen mit einem kontaktlosen Handling unter Verwendung eines Laserstrahls liefert das Kontakthandling, welches auf einem Mikrogreifer oder etwas Ähnlichem basiert, bessere Steuergrößen bezogen auf das Objekt. Wenn jedoch das zu hantierende Objekt kleiner als einige zehn Mikrometer in der Baugröße ist, dann wird durch die Anziehungskräfte zwischen den Oberflächen der Finger des Mikrogreifers und dem zu hantierenden Objekt die Manipulation schwierig.

3.4.24

Mikropumpe

mechanisches Bauelement, welches Druck erzeugt und somit kleine Mengen von Fluiden transportiert

ANMERKUNG Es gibt viele Beispiele für Mikropumpen, welche zum Beispiel hauptsächlich auf Silizium- oder Glasbasis mittels mikromechanischer Bearbeitungsverfahren hergestellt werden, um eine Membran zusammen mit einem Aktor zu erhalten. Anwendungsbeispiele umfassen sowohl eine Membranpumpe mit einem mikroskopischen Drosselventil, die durch ein piezoelektrisches Element angetrieben wird, als auch eine integrierte Pumpe, welche einen thermischen Expansions-Aktor zusammen mit einem Mikro-Heizer verwendet. Pumpen, welche das Ausstoßen und Ansaugen von Flüssigkeiten mittels der Deformation einer Membran durch einen piezoelektrischen Stack-Aktor bewirken, können in der Geschwindigkeit durch die Frequenzänderung des Aktor-Antriebes gesteuert werden. Außerdem können pulsdämpfende Pumpen mit hoher Präzision den Fluss der Flüssigkeit durch den Einsatz einer Dualpumpe zusammen mit einer synchronen Speicherpumpe steuern.

3.4.25

Mikroventil

mechanisches Bauelement, mit dem der Fluss von Fluiden in einem mikroskopischen Kanal gesteuert wird

ANMERKUNG Mikroventile, welche aus solchen Komponenten wie auf Siliziumbasis usw. hergestellten Aktoren und Membranen zusammengesetzt sind, steuern den Fluss in mikroskopisch kleinen Kanälen (schmäler als einige Mikrometer). Beispielsweise besteht ein Steuerventil für den Gasfluss aus einem piezoelektrischen Aktor in Stacktechnologie und einer Membran. Um hochviskose Flüssigkeiten wie Blut zu steuern, ist es notwendig, sowohl den Kanal als auch den Membranhub zu vergrößern. Es wurde ein Mechanismus für diesen Zweck entwickelt, bei welchem ein Ring aus Formgedächtnislegierung sowie eine vorgespannte Feder verwendet werden, genauso wie ein Mechanismus, welcher den Kanal mittels eines elektromagnetischen, magnetischen oder piezoelektrischen Aktors wechselt.

3.4.26

CMOS-MEMS-Bauteil

CMOS-MEMS

integriertes MEMS-Bauelement, bei dem die CMOS-Signalverarbeitungsschaltungen und die mikromechanischen MEMS-Bestandteile zusammen auf demselben Siliziumsubstrat hergestellt werden

ANMERKUNG Eine Herstellungsmöglichkeit von MEMS-Bauelementen ist die Integration von CMOS-Signalverarbeitungsschaltungen und den mechanischen MEMS-Bestandteilen. Da üblicherweise CMOS-MEMS-Bestandteile mithilfe

eines MEMS-Prozesses auf einem vorbehandelten CMOS-Wafer hergestellt werden, erfordert dies, dass der MEMS-Prozess die CMOS-Schaltung nicht beschädigt.

3.4.27

Mikro-Brennstoffzelle

mikromechanisch hergestelltes Bauelement, das chemische Energie eines Brennstoffes direkt in elektrische Energie mittels eines elektrochemischen Prozesses wandelt

3.4.28

fotoelektrischer Wandler

Wandler, welcher eine elektrische Ausgangsgröße erzeugt, die zum einfallenden Licht korrespondiert

ANMERKUNG Fotoelektrische Wandler werden entsprechend ihren Anwendungen in zwei Gruppen eingeteilt: 1) Foto-Detektoren, welche Lichtsignale verarbeiten, und 2) photovoltaische Energiesysteme wie Solarbatterien, welche auf Lichtenergie reagieren. Im ersten Fall sind Empfindlichkeit und Reaktionszeit wichtig, während im zweiten Fall die Effizienz der Energieumwandlung wichtig ist. Fotoelektrische Wandler können nach ihren Arbeitsprinzipien klassifiziert werden, und zwar in den fotoleitenden (fotoelektrischen) Typ wie fotoleitende Zelle oder Bildaufnahmeröhre bzw. den photovoltaischen Typ wie Fotodiode und Solarzelle.

3.5 Begriffe zur Bearbeitungstechnologie

3.5.1

mikromechanische Bearbeitung

mikrostrukturelle Bearbeitung

mechanische Bearbeitungsverfahren, um mikroskopische Strukturen herzustellen

ANMERKUNG Die mikromechanische Bearbeitung ist ein allgemeiner Begriff, der die weitreichenden Bearbeitungstechnologien für mikroskopische Strukturen umfasst. Allerdings kann der Begriff in Abhängigkeit vom Kontext auch in spezifischen Bedeutungen wie folgt verwendet werden:

1. Bearbeitungsverfahren, die auf Basis der Halbleiter-Fertigungstechnologien entwickelt werden und die verwendet werden, um Mikrosystem- und MEMS-Bauteile herzustellen.
2. Bearbeitungsverfahren, die verwendet werden, um mikroskopische Strukturen für Mikrosystem- oder MEMS-Bauteile herzustellen, wobei herkömmliche Bearbeitungstechnologien wie zum Beispiel Schneiden und Schleifen (Abdünnen) verwendet werden.

3.5.2

Siliziumprozess

Silizium-Mikromechanik

hochpräzise Bearbeitungstechnologien für Silizium

ANMERKUNG Obwohl die Siliziumprozesse allgemein in die Oberflächen-Mikromechanikbearbeitung und die Volumen-Mikromechanikbearbeitung eingeteilt werden, umfassen diese Technologien meist dasselbe. Der Siliziumprozess beginnt mit dem Schichtenaufbau und wird dann fortgeführt mit einem Strukturierungsprozess, der Mikroassemblierung, Tempern und Packaging. Viele Technologien wie Abscheidung, Diffusion, chemische Korrosion und Lithografie werden als Arbeitstechnologien zusammengefasst. Eine Eigenschaft des Siliziumprozesses ist die Fähigkeit, die Chargenverarbeitung auf großen Wafern für die Massenproduktion von Komponenten einzusetzen.

3.5.3

Dickschichttechnologie

Dickfilmentechnologie

Technologie zum Aufbringen dicker Schichten auf ein Substrat

ANMERKUNG Eine Dickschicht ist eine Schicht mit einer Dicke von ungefähr 5 µm oder größer und wird durch eine Druckpastenbeschichtung oder Sprühbeschichtung und anschließendem Tempern hergestellt. Diese Schichten sollten bei der Entwicklung piezoelektrischer und magnetischer Aktoren verwendet werden.

3.5.4

Dünnschichttechnologie

Dünnschichttechnologie

Technologie zum Aufbringen dünner Schichten auf ein Substrat

ANMERKUNG Eine Dünnschicht ist eine Schicht, welche mittels Vakuumabscheidung oder Ionensputtern usw. hergestellt wird. Die Schichtdicke liegt im Bereich von einer einzigen Atom- oder Molekülschicht bis etwa 5 µm. Üblicherweise wird der Begriff auf Schichten mit einer Dicke von 1 µm oder kleiner bezogen. Eine Dünnschicht kann Eigenschaften wie Farbe, Reflektivität und Reibungskoeffizient auf dem Substrat ändern, während die Form des Substrats praktisch unverändert bleibt. Phänomene wie die optische Interferenz oder Oberflächendiffusion werden wesentlich durch die Bildung von Dünnschichten beeinflusst. Dünnschicht-Formationen haben üblicherweise nicht im Gleichgewicht stehende heterogene atomare Formierungsstufen, welche strukturelle Eigenschaften ergeben, die unterschiedlich zu denen des Volumenmaterials sind, welches bei Gleichgewichtsbedingungen erzeugt wurde. In einer Applikation verbesserte eine mit dem Ätzen kombinierte Dünnschichttechnologie den Integrationsgrad eines Thermodruckkopfes, welcher konventionell mit einer Dickschichttechnologie gefertigt wurde.

3.5.5

Volumen-Mikromechanik

Bulk-Silizium-Mikromechanik

mikromechanischer Bearbeitungsprozess, bei dem ein Teil des Substrats entfernt wird

ANMERKUNG Ein Beispiel für die Volumen-Mikromechanikbearbeitung ist ein Bearbeitungsverfahren, das auf dem (Ab-)Ätzen mithilfe einer chemischen Lösung basiert, um nicht notwendiger Teile eines Substrats zu entfernen. Das Abdecken der zu erhaltenden Flächen mit einer Maske aus SiO₂ oder Si₃N₄ stellt sicher, dass der Ätzvorgang nicht über die Oberfläche fortschreitet. Ebenso können mit Bor dotierte Schichten das Ätzen auf Teile unterhalb der Oberflächenschicht stoppen. In jüngster Vergangenheit wird das Silizium-Fusionsbonds verwendet, um noch komplexere Strukturen herzustellen.

3.5.6

Oberflächen-Mikromechanik

mikromechanischer Bearbeitungsprozess zum Herstellen unterschiedlicher Werkstoffe in unterschiedlichen Mikrostrukturen auf der Substrat-Oberfläche

ANMERKUNG Die Oberflächen-Mikromechanik ist eine Prozesstechnologie, die beispielsweise die chemische Dampfabscheidung (CVD, en: chemical vapor deposition) zum Herstellen verschiedener dünner Schichten auf dem Substrat verwendet und eine Maske zum selektiven Entfernen auf der Substratoberfläche nutzt, um damit bewegliche Teile und andere Strukturen zu fertigen. Die abgelöste Schicht, welche ursprünglich aufgebracht wurde, ist die so genannte Opferschicht. Ein übliches Opferschichtmaterial ist Phosphorsilikat-Glas (PSG). Diese Technologie wird bei der Herstellung von Mikro-Trägern, -Balken und -Brücken usw. eingesetzt.

3.5.7

Oberflächenmodifikation

Bearbeitungstechnologie, bei der physikalische, chemische oder biochemische Eigenschaften der Werkstoffoberfläche geändert werden

ANMERKUNG Verfahren der Oberflächenmodifikation umfassen das Dotieren für elektrische Anwendungen, die Abscheidung von Materialien für mechanische/chemische Anwendungen oder die molekulare Modifikation für biochemische Anwendungen.

3.5.8

chemisch-mechanisches Polieren

chemisch-mechanisches Planarisieren

CMP (en: chemical mechanical polishing)

Verfahren zum Planarisieren eines Substrats mithilfe einer Kombination von mechanischem Polieren und chemischem Ätzen

ANMERKUNG Chemisch-mechanisches Polieren wird hauptsächlich zum Planarisieren von Stufen auf einem Substrat in Halbleiter-Herstellungsprozessen angewendet. Da die Stufen aus einer Vielzahl von Werkstoffen bestehen, wie zum Beispiel Substrate, Dielektrika, Metalle usw., werden unterschiedliche Poliersuspensionen (Slurries) zum selektiven Ent-

fernen der jeweiligen Materialien verwendet. Bei MEMS-Bauelementen wird das CMP-Verfahren zum Planarisieren der Bondoberflächen beim Packagingprozess auf Wafer-Niveau verwendet.

3.5.9

Fotolithografie

Technologie zum Übertragen eines feinen Musters (Pattern) auf ein Substrat mittels Licht

ANMERKUNG In der Fotolithografie wird eine Glasplatte, auf welche das gewünschte Muster aufgebracht wurde, als eine Maske verwendet. Diese Maske wird über dem Substrat positioniert, das mit einer dünnen Schicht eines fotoempfindlichen Materials, dem sogenannten Fotolack (Fotoresist), beschichtet wurde, um dann Teile des Substrats mit sichtbarem oder ultravioletttem Licht über die Maske zu belichten. Weil die Löslichkeit des Fotolacks in der Entwicklerlösung infolge der Lichtexposition unterschiedlich ist, wird das auf der Maske aufgebrachte Muster auf der dünnen Fotolackschicht im Entwicklungsprozess übertragen. Fotolithografie ist für Siliziumprozesse unverzichtbar. In der Halbleiterindustrie haben die erforderlichen Auflösungen der horizontalen Muster das Sub-Mikrometer-Niveau erreicht, wobei Licht kürzerer Wellenlängen zum Einsatz gebracht wird.

3.5.10

Fotomaske

teilweise transparente Film- oder Glasplatte, welche verwendet wird, um ihre transparenten Muster mittels optischer Projektion zu übertragen

ANMERKUNG Im Herstellungsprozess von integrierten Schaltungen wird ein gewünschtes Schaltungsmuster (Layout) in einem vergrößerten Maßstab von etwa dem Zehn- bis fast dem Hundertfachen gezeichnet und dann reduziert auf die Film- oder die Glasplatte als Fotomaske gebracht. Diese Originalmaske wird direkt für die Belichtung, das Kopieren auf den Wafer oder zur Herstellung einer Arbeitsmaske für Fertigungszwecke mit demselben Muster wie auf dem Original verwendet. Das Plattenmaterial hängt von der Wellenlänge der Strahlen ab, welche im Belichtungsprozess verwendet werden.

3.5.11

Fotolack

Fotoresist

<Bauelemente der Mikrosystemtechnik> lichtempfindliches Material, das in der Fotolithografie verwendet wird

ANMERKUNG Fotolacke bestehen aus makromolekularen Zusammensetzungen (Compounds) mit lichtempfindlichen funktionalen Molekülen. Es gibt in Wasser und organischen Mitteln lösliche Arten. Um ein Muster zu erzeugen, wird das Objekt mit dem Fotolack beschichtet, dann vorgetempert, belichtet, entwickelt und nachgetempert. Fotolacke umfassen sowohl positive Fotolacke, welche ihren belichteten Anteil während der Entwicklung verlieren, als auch negative Fotolacke, deren belichteter Anteil übrig bleibt. Zum Erzeugen sub-mikrometerfeiner Muster werden verschiedene Fotolacke wie Elektronen- und Röntgenstrahl-Fotolacke entsprechend der Belichtung mit Strahlen unterschiedlicher Wellenlängen angeboten.

3.5.12

Elektronenstrahl-Lithografie

Technologie zum Erzeugen sehr feiner Muster (Pattern) auf einem Substrat unter Nutzung eines Elektronenstrahls

ANMERKUNG Die Auflösung des Musters ist von der Wellenlänge der Strahlen abhängig. Elektronenstrahl-Lithografie verbessert die Auflösung durch die Verwendung des Elektronenstrahls. Die Kombination der Elektronenstrahl-Lithografie mit dem computerunterstützten Entwicklungs-System (CAD) macht den maskenlosen Lithografie-Prozess folglich flexibler. Allerdings erfordert er eine größere Gesamtdauer zum Belichten im Vergleich zur Chargenbelichtung, weil das Scannen mit dem Elektronenstrahl mithilfe von Raster- oder Vektor-Pattern durchgeführt wird.

3.5.13

LIGA-Prozess

Herstellungsprozess für Mikrostrukturen, die als (Präge-)Formwerkzeuge benutzt werden können, wobei die Röntgentiefen-Lithografie (Synchrotronstrahlung) und das Elektroforming verwendet werden

ANMERKUNG LIGA ist ein Akronym für die deutschen Benennungen Lithografie, Galvanoformung und Abformung. Merkmal des LIGA-Prozesses ist die Fähigkeit der Massen-Produktion von Mikrostrukturen bei Aspektverhältnissen von 1 µm bis 10 µm Breite und einer Höhe von einigen hundert Mikrometern, um den Einsatz eines weiten Bereiches von

Werkstoffen zu erlauben, einschließlich Kunststoffen, Metallen und Keramiken, um diese mit Silizium-Halbleiterbauelementen und anderen zu kombinieren.

3.5.14

UV-LIGA

weiterentwickelter LIGA-Prozess, bei welchen die Röntgenstrahlung durch ultraviolette (UV) Strahlung ersetzt wurde

3.5.15

Röntgenstrahl-Lithografie

Technologie zum Übertragen eines feinen Musters (Pattern) auf ein Substrat mittels Röntgenstrahlen

ANMERKUNG In der Lithografie-Technologie wurde anfangs sichtbares Licht verwendet, aber mit dem Anwachsen des Strukturgrades der Integration begann die Nutzung von Ultraviolettstrahlen oder kurzwelliger Excimerlaser. Außerdem werden manchmal auch Elektronen- oder Ionenstrahlen verwendet, obwohl mit diesen eine chargenbezogene Belichtung schwierig ist. Röntgenstrahlen haben eine viel kürzere Wellenlänge als die Excimerlaser und werden folglich für höhere Integrationen als geeignet betrachtet. Allerdings haben die optischen Systeme viele Probleme; beispielsweise ist eine effiziente und genaue Linse für Röntgenstrahlen schwer herzustellen.

3.5.16

Strahlenbearbeitung

Bearbeitungsprozess unter Verwendung hochenergetischer Strahlungen

ANMERKUNG Hochenergetische Strahlungen, die in Mikrosystemtechnologien verwendet werden, umfassen Laserstrahlen, Elektronenstrahlen, Ionenstrahlen (ein üblicher Ionenstrahl ist ein fokussierter Ionenstrahl, d. h. FIB (en: focused ion beam)) sowie Molekular- und Atomstrahlen. Eine auf Laserstrahlen basierende Mikrobearbeitung wird entweder mithilfe einer Mikromuster-Maske oder einem fokussierten Laserstrahl durchgeführt. Im Falle des Maskenverfahrens wird die Bearbeitungsgenauigkeit durch die Genauigkeit der Maske und der Abberation der Linsenoptik bestimmt. Im Falle eines fokussierten Laserstrahles wird die Bearbeitungsgenauigkeit durch die Wellenlänge des Laserstrahls und die Brennweite der Linsenoptik bestimmt. Ionenstrahl-Bearbeitung wird beim Finishing feiner Profile verwendet.

3.5.17

Sputtern

Herauslösen von Atomen aus einer Plasmaquelle durch energetischen Ionenbeschuss und der nachfolgenden Abscheidung dieser Atome als eine dünne Schicht auf einem Substrat

[IEC 60194:1999]²

ANMERKUNG Sputtern mit inerten oder reaktiven Ionen kann auf verschiedene Bearbeitungsarten angewendet werden, und zwar entweder für das Entfernen oder das Abscheiden der herausgelösten Atome.

3.5.18

fokussierte Ionenstrahl-Bearbeitung

FIB (en: focused ion beam)

Technologie zum Entfernen mikroskopischer Werkstoffmengen von der Oberfläche durch Sputtern mit beschleunigten und fokussierten Ionen

ANMERKUNG Die Verwendung eines fokussierten Ionenstrahls mit einem Durchmesser von etwa 0,1 µm ermöglicht es, mikroskopische Löcher hochgenau zu bohren, unterschiedliche Sonden-Bauarten zu formen sowie asphärische Oberflächenlinsen herzustellen und zu bearbeiten. Indem die Änderungen in der Intensität von Sekundärionen oder Sekundärelektronen gemessen werden, welche aus dem Material herausgelöst wurden, kann die Tiefe der Bearbeitung ebenfalls genau geregelt werden. Ein Nachteil ist die geringe Bearbeitungsgeschwindigkeit, ein anderer Nachteil ist die relativ komplexe Anlage, welche für das erforderliche Hochvakuum notwendig ist.

3.5.19

Lasertrennen

Technologie zum Trennen (Vereinzeln) von Wafern unter Verwendung eines Lasers, mit dem entlang der Trennlinien das Substrat bestrahlt und abgetastet wird

² IEC 60194:1999, *Printed board design, manufacture and assembly – Terms and definitions* (nur in Englisch erhältlich)

ANMERKUNG Bei einem Trennprozess, bei dem das Vereinzeln mit der Trennscheibe schwierig ist, wird meistens das Lasertrennen angewendet; dabei wird der Laserstrahl innerhalb des Substrats fokussiert und dann werden modifizierte Schichten unterhalb des Ritzgrabens gebildet, so dass schließlich der Wafer infolge der mechanischen Ausdehnung getrennt wird.

3.5.20

Ätzen

Ätzprozess

<Bauelemente der Mikrosystemtechnik> Prozess zur Materialentfernung mittels chemischer Korrosion

ANMERKUNG Ätzen, und zwar sowohl isotropes als auch anisotropes Ätzen, entfernt Materialanteile in einer korrosiven Umgebung, welche entweder in der gasförmigen oder der flüssigen Phase ist, und manchmal gibt es eine unterstützende Anregung mit elektrischer Energie (elektrochemisches Ätzen). Auf dem Gebiet der Mikrosystem-Technologien ist das anisotrope Ätzen üblich. Beispiele dafür sind die Verwendung von Kaliumhydroxid (KOH) oder Ethylen-diamin-Pyrokatechol (EDP) auf einkristallinem Silizium, wobei die (111)-Kristallebene immer langsamer geätzt wird als die anderen Kristallebenen, sodass eine dreidimensionale Struktur der (111)-Kristallebene zurückbleibt.

3.5.21

Nassätzen

Ätzprozess in flüssiger Phase durch eine reaktive chemische Lösung

ANMERKUNG Beim Anwenden des Nassätzens wird der Bereich, welcher ungeätzt bestehen bleiben soll, vorher mit einer Maske abgedeckt, während die unabgedeckten Teile exponiert werden, danach wird das Material in die reaktive Lösung getaucht. Ätzprozesse werden eingeteilt in isotropes Ätzen, welches unabhängig von der Kristallstruktur des Materials ist, und anisotropes Ätzen, welches von der Kristallstruktur abhängig ist. In einem isotropen Ätzprozess verläuft die Korrosion in alle Richtungen mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit, ausgehend von einem unmaskierten Bereich auf der Oberfläche, welche in kreisförmigen Querschnitten resultiert. Auf der anderen Seite variiert die Ätzrate im anisotropen Ätzprozess mit den unterschiedlichen Kristallrichtungebenen des Materials, sodass ungeätzt die Ebene der kleinsten Ätzrate bestehen bleibt und die endgültige Form bestimmt.

3.5.22

Trockenätzen

Ätzprozess in der Dampfphase durch physikalische und/oder chemische Reaktionen mit reaktivem Gas oder reaktivem Plasma

ANMERKUNG Prinzipiell wirkt ein reaktives Gas, das mittels elektrischer Energie erzeugt wird, mit dem Substrat und entfernt Material, um die gewünschte Form oder Abmessung zu erhalten. Die Ätzverfahren werden eingeteilt in Plasma-Ätzverfahren, welche isotropes Ätzen auf Basis chemischer Reaktionen sind, und Ionen-Ätzverfahren, welche richtungsorientiertes Ätzen auf Basis physikalischer Reaktionen (Sputtern) sind. Trocken-Ätzverfahren, welche eines von diesen oder beide zusammen verwenden, werden extensiv in der gegenwärtigen Fertigung von hochintegrierten Halbleiterschaltungen genutzt.

3.5.23

isotropes Ätzen

Ätzverfahren, bei dem die Ätzrate weder von der Kristallorientierung noch von der Richtung der energetischen Strahlung abhängig ist

ANMERKUNG Ein übliches isotropes Ätzmittel (Ätzer) ist die HF/HNO₃/CH₃COOH-Lösung (HNA-Lösung).

3.5.24

anisotropes Ätzen

Ätzverfahren, bei dem die Ätzrate von der Kristallorientierung oder der Richtung der energetischen Strahlung abhängig ist

ANMERKUNG Ein übliches anisotropes Ätzmittel (Ätzer) für Silizium ist Kaliumhydroxid (KOH), das oft in verschiedenen Verfahren der Volumen-Mikromechanik eingesetzt wird.

3.5.25

Ätzstopper

Technologie, mit welcher der Ätzprozess bei einer gesteuerten Tiefe, wo sich eine sehr kleine Ätzrate herausbildet, beendet wird

ANMERKUNG Manchmal wird der Ätzstopper als die letzte Schicht im Ätzprozess verwendet. Es gibt zwei Grundarten von Ätzstoppverfahren, die in der mikromechanischen Bearbeitung verwendet werden: dotierte Ätzstopper und elektrochemische Ätzstopper.

3.5.26

Opferschicht-Ätzen

mikrotechnisches Bearbeitungsverfahren, bei dem inmitten zweier Sandwich-Schichten eine Zwischenschicht aus einem unterschiedlichen Material bevorzugt geätzt (geopfert) und somit selektiv entfernt wird

ANMERKUNG Gewöhnlich ist der Wert der Ätzselektivität zwischen der Zwischenschicht und den beiden Sandwich-Schichten groß. Der Zweck der Opferschicht ist das mechanische Bestehenbleiben einer oder beider Sandwich-Schichten. Üblicherweise wird Siliziumoxid als Opferschicht verwendet.

3.5.27

überkritisches Trocknen

Trocknungsverfahren unter Verwendung einer überkritischen Flüssigkeit

ANMERKUNG Die überkritische Flüssigkeit ist ohne Auswirkung auf die Oberflächenspannung extrem diffundier- und lösbar. Es ist möglich, einen empfindlichen Werkstoff ohne Beschädigung seiner Struktur zu trocknen, während herkömmliche Trocknungsverfahren bei solchen Werkstoffen zu großen Schrumpfeffekten und Strukturschädigungen führen. Kohlendioxid wird oft als überkritische Flüssigkeit verwendet, weil es mit ihm möglich ist, nur ein getrocknetes Bearbeitungsobjekt zu erhalten, da Kohlendioxid unterschiedliche Materialien lösen kann und unterhalb des kritischen Punktes verdampft. Es wird für Trocknungsprozesse verwendet, ohne auf die Mikrosystem-Fertigung beschränkt zu sein.

3.5.28

reaktives Ionen-Ätzen

RIE (en: reactive ion etching)

Technologie, bei der das Ätzen unter korrosivem Gas mit dem Sputtern von Ionen kombiniert wird

ANMERKUNG Beim reaktiven Ionen-Ätzen wird das Material in der vertikalen Richtung unter der Maske entfernt, und zwar sowohl durch die chemische Reaktion als auch den physikalischen Beschuss (Sputtern) mit Ionen und Radikalen, welche im Plasma gebildet werden. Im Unterschied zum anisotropen Ätzen, bei dem die Richtung des Abtragens von der Kristallorientierung des Materials abhängig ist, wird beim RIE das Entfernen durch die Richtung des Ionenstrahls bestimmt. RIE resultiert in geringeren Unterätzungen von der Kante unter der Maske als beim Nass-Ätzen.

3.5.29

reaktives Ionen-Tiefenätzen

DRIE

Variante des reaktiven Ionen-Ätzens (RIE), mit der man Strukturen großer Aspektverhältnisse mit vertikalen Seitenwänden herstellen kann

ANMERKUNG DRIE ist ein Akronym für "deep reactive ion etching". Zum Beispiel können Strukturen mit großen Aspektverhältnissen hergestellt werden, indem alternativ abwechselnd ein Ätzgas und ein Passivierungsgas in einer Einrichtung zum reaktiven Ionen-Ätzen verwendet werden.

3.5.30

ICP

Plasma hoher Dichte, das mittels induktiver Anregung erzeugt wird

ANMERKUNG ICP ist ein Akronym für "inductively coupled plasma". ICP wird häufig in Ätzprozessen wie DRIE verwendet.

3.5.31

Dampfabscheidung

Technologie zum Abscheiden eines Materials aus einem Dampf auf eine feste Oberfläche

ANMERKUNG Dampfabcheidung ist eine Technologie zum Aufbringen einer dünnen Schicht durch das Verdampfen eines festen Materials, üblicherweise ein im Vakuum eingebrachtes Metall, durch das Erwärmen oder die Bestrahlung mit Elektronenstrahlen und der Exposition des Substrats in dem Dampf, welcher abgeschieden wird. Die Reinheit der Schicht ist vom Druck in der Kammer abhängig, die Adhäsionskraft der Schicht ist relativ klein und die Kristallstruktur darf fehlerhaft sein, weil die Schicht durch die einfache Adhäsion zusammengehalten wird. Folglich wird das Substrat manchmal vorgewärmt, um chemische Reaktionen nach der Abscheidung zu induzieren und somit die Adhäsion zu verstärken und außerdem die Kristallstruktur zu verbessern.

3.5.32

Atomlagenabscheidung

ALD (en: atomic layer deposition)

Technologie zum Abscheiden von Dünnschichten einer Auflösung in der Dicke auf atomarem Niveau

ANMERKUNG Mit dem sequenziellen Ändern der gasförmigen Ausgangsmaterialien kann der chemische Abscheidungsprozess bis auf das atomare/molekulare Größenniveau heruntergeregt werden. Beim Molekularstrahl-Epitaxieprozess, einer verwandten Technologie, hat die abgeschiedene Schicht die gleiche Kristallstruktur wie die von einem monokristallinen Substrat.

3.5.33

physikalischer Dampfabscheidungsprozess

physikalische Dampfabcheidung

PVD-Prozess (PVD, en: physical vapour deposition)

<Bauelemente der Mikrosystemtechnik> Prozess zum Herstellen einer dünnen Schicht, hauptsächlich mittels der physikalischen Aufdampfung

ANMERKUNG Der PVD-Prozess erzeugt in erster Linie eine dünne Schicht sowohl mittels der Vakuumbedampfung von Metallatomen als auch der Sputter-Abscheidung unter Verwendung eines oder mehrfacher Ziele (Targets) in einer Edelgas- oder reaktiven Atmosphäre (z. B. HF-Magnetron-Sputtern, Ionenstrahl-Sputtern, Molekularstrahl-Epitaxie, Laser-Ablation). Siehe auch IEC 60050-815³.

3.5.34

selbstorganisierende Monoschicht

SAM (en: self-assembled monolayer)

selbstaufbauende Monoschicht von Molekülen, die an der Oberfläche infolge spezifischer Molekülaffinität chemisorbiert

ANMERKUNG Moleküle sind üblicherweise mit dem Substrat beim chemischen Bonden fest verbunden, während die Moleküle in Langmuir-Blodgett-Schichten über die Physisorption, wie zum Beispiel die elektrostatische Kraft, schwach verbunden sind.

3.5.35

Elektroforming

Galvanoforming

galvanisches Formen

Herstellung oder Nachbildung von Gegenständen mittels einer galvanischen Beschichtung auf einem Dorn, einer Kopierschablone oder einer Form und anschließendes Trennen der aufgetragenen Schicht von diesen

[ISO 2079:1981]⁴

ANMERKUNG Ein Kunststoff oder eine andere Matrizie (Gussform) wird durch eine nichtgalvanische Beschichtung leitfähig gemacht und wird als eine Kathode verwendet, um ein gewünschtes Metall massiv und schnell galvanisch abzuscheiden; danach erhält man ein Produkt, indem das Metall von der Matrizie gelöst wird. Dieses Verfahren wird bei der Herstellung von Presswerkzeugen für Compact-Disks (CD) und Laser-Disks verwendet, weil die Form und Oberflächengüte der Matrizie genau nachgebildet werden.

³ IEC 60050-815:2000, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity*

⁴ ISO 2079:1981, *Surface treatment and metallic coatings – General classification of terms*