

GESETZLICHE BEGRENZUNG VON ABWASEREMISSIONEN AUS DER HERSTELLUNG VON HALBLEITERBAUELEMENTEN

(AEV HALBLEITERBAUELEMENTE BGBl. II Nr. 213/2000)

1. Allgemeines

Halbleiter sind Festkörper, die bei Zimmertemperatur eine elektrische Leitfähigkeit aufweisen und bei tiefen Temperaturen Isolatoren sind. Ihr elektrischer Widerstand fällt mit steigender Temperatur exponentiell ab. Starre naturwissenschaftliche Grenzen kann man zwischen Halbleitern, Metallen und Isolatoren nicht ziehen. Nach der chemischen Beschaffenheit unterscheidet man zwischen Elementhalbleitern und Verbindungshalbleitern.

Die wichtigsten Elementhalbleiter sind Silicium (Si), Germanium (Ge), Selen (Se) und Tellur (Te).

Zu den Verbindungshalbleitern gehören die aus chemischen Verbindungen von Elementen der II. und V. Hauptgruppe (II-V-Halbleiter) sowie der II. und VI. Hauptgruppe (II-VI-Halbleiter) des Periodensystems der chemischen Elemente bestehenden Halbleiter. Zur ersten Gruppe gehören z.B. Galliumarsenid (GaAs), Indiumphosphid (InP), Indiumantimonid (InSb), Galliumphosphid (GaP), Indiumarsenid (InAs) u.a., zur zweiten Gruppe gehören z.B. Zinksulfid (ZnS), Cadmiumsulfid (CdS), Bleiselenid (PbSe), Cadmiumselenid (CdSe) und Cadmiumtellurid (CdTe).

Die Halbleitereigenschaft ist eng mit der kovalenten Bindung der atomaren Bausteine der Feststoffe verknüpft. Silicium und Germanium kristallisieren in Diamantgitterstruktur, Verbindungshalbleiter dagegen haben typischerweise das Kristallgitter der Zinkblende.

Die zahlreichen technischen Anwendungen der Halbleiter beruhen auf der charakteristischen Eigenschaft, dass ihre elektrische Leitfähigkeit durch

- Einbau von Fremdatomen (Dotierung)
- Abweichungen von der stöchiometrischen Zusammensetzung (Mangelhalbleiter) oder Gitterfehler
- Äußere Einflüsse (Temperatur, Druck, Licht, elektrische oder magnetische Felder)

über viele Größenordnungen kontrollierbar variiert werden kann.

Die physikalischen Vorgänge in Halbleitern konnten erst durch Anwendung der Wellenmechanik auf Festkörper erklärt werden (Bändermodell). Auch war es lange Zeit nicht möglich, Halbleiter mit ausreichender chemischer Reinheit und reproduzierbaren Eigenschaften herzustellen.

Zwischen der Art der Bindung im kristallinen Festkörper und dem Mechanismus der Leitung von Strom besteht ein enger Zusammenhang. Bei metallischer Bindung bewegen sich die Elektronen der äußersten Elektronenschale der Atome quasi frei durch den Kristall (Elektronengas) und verursachen hohe elektrische Leitfähigkeiten. Kristalle mit überwiegender Ionenbindung zeigen Ionenleitung. Molekulkristalle mit ausgeprägter homöopolarer Bindung (van der Waal'sche Kräfte) sind meist typische Isolatoren. Die Valenzelektronen sind den einzelnen Atomgruppen zugeordnet und werden für die Bindung der einzelnen Atomgruppen benötigt.

Die meisten Halbleiter kristallisieren in einem Gitter, in dem die homöopolare Bindung überwiegt. Darin sind benachbarte Atome durch abgesättigte Elektronenpaare verbunden. Valenzelektronen können nur zum Stromtransport beitragen, wenn sie durch Zufuhr von Aktivierungsenergie aus ihrer Bindung herausgelöst werden (z.B. durch Licht- oder Wärmeenergie). Nach dem Bändermodell müssen dazu die Elektronen aus dem Valenzband auf das Leitungsband gehoben werden. Sowohl die Elektronen im Leitungsband wie auch die Löcher im Valenzband (d.h. die Elektronendefekte auf Gitterplätzen, Atome auf Zwischengitterplätzen oder Leerstellen) verändern die Bindungsverhältnisse der Umgebung. Das hat zur Folge, dass an diesen Stellen entweder Elektronen vorhanden sind oder dass Elektronen fehlen (Löcher vorhanden sind), die unter kleinem Energieaufwand aus benachbarten Valenzbindungen aufgefüllt werden. Störstellen, die Elektronen abgeben, nennt man Donatoren. Störstellen, die Elektronen aufnehmen (d.h. Defektelektronen abgeben) bezeichnet man als Akzeptoren. In halbleitenden Kristallen der vierwertigen Elemente Silicium und Germanium wirken fünfwertige Elemente (P, As, Sb) als Donatoren und dreiwertige Elemente (B, Al, Ga) als Akzeptoren. Derartige Elemente werden zur Herstellung von Halbleiterbauelementen in Halbleiterstoffe oder deren geometrisch genau definierte Teilbereiche zur Erzeugung einer definierten Leitfähigkeit gezielt eingebaut. Diesen Vorgang bezeichnet man als Dotierung.

In einem homogenen Halbleiter gilt bei nicht zu großen Feldstärken das Ohm'sche Gesetz, wonach die Stromdichte der elektrischen Feldstärke proportional ist. Der Strom setzt sich aus einem Elektronen- und einem Defektelektronenteil zusammen. Werden die Leitungselektronen und die Defektelektronen im thermischen Gleichgewicht vom Grundgitter geliefert, so spricht man von Eigenleitung. Störleitung liegt dagegen vor, wenn die Ladungsträger von Störstellen stammen. In diesem Fall wird der Strom vorwiegend von einer einzigen Ladungsträgerart getragen. Man unterscheidet Überschussleitung (n-Leitung) und Defektleitung (p-Leitung), je nachdem ob die Dichte der Elektronen oder die der Defektelektronen überwiegt.

Einkristalline Halbleiter, die als Werkstoffe zur Herstellung von Halbleiterbauelementen verwendet werden, sind in der Regel homogen mit bestimmten Störstellen dotiert, beispielsweise mit Donatoren zur Erzeugung einer gleichmäßigen n-Leitung. Bei der Herstellung von Bauelementen aus diesen Körpern werden bestimmte geometrisch genau festgelegte Gebiete stärker mit Akzeptoren dotiert, so dass diese Gebiete p-leitend werden. Im einkristallinen Halbleiter entsteht zwischen den beiden Gebieten eine Grenze, die man p-n-Übergang bezeichnet. Halbleiterbauelemente besitzen einen p-n-Übergang (z.B. Gleichrichter-Dioden), zwei (z.B. Transmittoren) oder mehrere p-n-Übergänge (z.B. Thyristoren, Triacs, integrierte Schaltungen).

Pro Zeit- und Volumseinheit wird in einem Halbleiter eine bestimmte Anzahl von Elektronen durch thermische Anregung aus dem Valenzband in das Leitungsband gehoben. Der Gegenprozess, die Rekombination von Elektron/Defektelektron-Paaren, erfolgt im thermischen Gleichgewicht ebenso häufig. Durch äußere Einwirkung (z.B. durch zusätzliche Erzeugung von Ladungsträgerpaaren infolge Lichteinstrahlung), können die Ladungsträgerdichten über das Gleichgewichtsmaß hinaus erhöht werden. Damit erhöht sich die Zahl der Rekombinationen. Hört die zusätzliche Erzeugung plötzlich auf, so sinken die Gleichgewichtsdichten nach einiger Zeit wieder. Dieser Vorgang verläuft exponentiell mit einer Zeitkonstanten (Lebensdauer der Ladungsträger).

1.1 Halbleiterstoffe

Damit Halbleiterstoffe zur Herstellung von Halbleiterbauelementen geeignet sind, müssen sie folgende Anforderungen erfüllen:

- es muss technische Möglichkeiten geben, im Halbleiter n- und p-Leitung definierter Größe reproduzierbar zu erzeugen.
- bei den gewöhnlichen Betriebstemperaturen (bis 150 °C) soll sich die Eigenleitung noch nicht bemerkbar machen.
- die Beweglichkeit der Elektronen wie auch der Defektelektronen soll möglichst groß sein.
- die Diffusionslänge der Ladungsträger soll nicht zu klein sein.

Von den bekannten Halbleitern erfüllen nur wenige diese Forderungen. Im großtechnischen Maßstab werden gegenwärtig als elementare Leiter nur Silicium und Germanium hergestellt. Bei den Verbindungshalbleitern kommen bevorzugt III/V-Verbindungen zum Einsatz.

Als Element der Gruppe VI des Periodensystems hat Selen als Fotohalbleiter und Flächengleichrichter Bedeutung. Siliciumcarbid-Sinterkörper werden als spannungsabhängige Widerstände eingesetzt.

II/VI-Verbindungen (vor allem CdS) werden als Fotowiderstände verwendet. Bleisulfid, Bleiselenid und Bleitellurid eignen sich für den Nachweis ultraroter Strahlung.

Die Leitfähigkeit reiner Metalloxide ist bei Raumtemperatur sehr klein. Durch Sintern der Mischungen zweier oder mehrerer Metalloxide (vor allem aus der Gruppe der Übergangsmetalle) erhält man Körper, die sehr niedrige spezifische Leitfähigkeiten besitzen. Mischungen aus Oxiden von Mangan, Cobalt, Nickel, Kupfer und Zink werden zur Herstellung von Thermistoren verwendet (positiver Temperaturkoeffizient der Leitfähigkeit).

Oxide und Oxidgemische mit ferromagnetischen Eigenschaften (vor allem Ferrite und Chromite) dienen als Werkstoffe für die Herstellung von Spulkernen für die Hochfrequenztechnik, von Speicherelementen und zur Herstellung von Tonbändern.

1.2 Halbleiterbauelemente

Der Ausdruck Halbleiterbauelemente wird als zusammenfassende Bezeichnung für alle aktiven und passiven elektronischen Bauelemente verwendet, deren Wirkungsweise auf den Eigenschaften von Halbleitern und/oder den Vorgängen an p-n-Übergängen beruht. Man unterscheidet nach der Wirkungsweise

- Volumenhalbleiterbauelemente, deren zahlreiche mikroskopische p-n-Übergänge homogen im Halbleitermaterial verteilt sind und
- Sperrschichthalbleiterbauelemente, die in einem gezüchteten Einkristall (Epitaxie, Kristallzüchtung) einen oder mehrere durch Dotierung flächenhaft erzeugte p-n-Übergänge aufweisen.

Nach den beeinflussenden physikalischen Effekten bzw. beteiligten Energieformen und Wechselwirkungen unterscheidet man

- rein elektrische Halbleiterbauelemente, in denen nur die elektrische Spannung bzw. elektrische Energie für die Wirkungsweise maßgeblich ist
- Halbleiterbauelemente mit durch die Temperatur beeinflussten bzw. auf thermoelektrischen Effekten beruhendem elektrischen Verhalten
- Magnetoelektrische oder galvanomagnetische Halbleiterbauelemente mit durch Magnetfelder beeinflusster Wirkungsweise
- Fotoelektrische bzw. optoelektrische Halbleiterbauelemente, in denen Umwandlungen von Licht- und anderer elektromagnetischer Energie in elektrische Energie oder Signale bzw. umgekehrt erfolgen (Strahlungsemission infolge Rekombination von Ladungsträgern bei Laserdioden, Lumineszenzdioden und -platten, Impatt- und Tunnelioden, HF-Transistoren, Gum-Oszillatoren)
- Halbleiterbauelemente, die die Koppelung von Schallwellen und elektrischen Vorgängen und/oder den piezoelektrischen Effekt ausnützen (akustoelektronische oder piezoelektronische Halbleiter).

Durch die Zusammenfassung vieler Bauelementfunktionen (integrierte Schaltungen IC) in Festkörperschaltkreisen können Halbleiterbauelemente so komplex aufgebaut werden, dass sie als Mikroprozessoren die Funktion der Zentraleinheit von Digitalrechnern ausüben können.

1.3 Herstellung von Halbleiterbauelementen

Entsprechend den vielfältigen Funktionen der heute eingesetzten Halbleiterbauelemente sind auch die eingesetzten Herstellungstechniken vielfältig und beinahe unüberblickbar. Die Herstellung ist in der Regel durch die Abfolge einer Vielzahl von Prozessschritten gekennzeichnet (bis zu 300 Einzelschritte).

Gemeinsam ist allen Produktionsverfahren die Herstellung von p-n- oder n-p- Übergängen. Diese werden heute durch Legieren, Diffusion oder Ionenimplantation hergestellt.

Die älteste Technik ist das Legieren. Bei Germanium beispielsweise löst man mit einem flüssigen Indium-Kügelchen einen Teil eines n-leitenden Ge-Plättchens auf. Beim Abkühlen wird das rekristallisierende Germanium durch Einbau von Indium p-leitend. Damit ist ein pn- Übergang entstanden. Wiederholt man den gleichen Vorgang auf der Rückseite des Germaniumplättchens, erhält man einen pnp-Transistor.

Bei der Implantationstechnik werden in einem Vakuumsystem aus einer Ionenquelle (z.B. für Bor oder Arsen) die gewünschten Ionen erzeugt, auf etwa 100 eV beschleunigt und in die Oberfläche einer Siliciumscheibe geschossen.

Am häufigsten wird die Diffusionstechnik, meist kombiniert mit einem fototechnischen Ätzverfahren, genutzt (Planartechnologie). Hierbei dringt der Dotierungsstoff bei hoher Temperatur aus der Gasphase in den festen Halbleiterkörper ein. Temperatur und Zeit bestimmen die Eindringtiefe des Dotierungsstoffes, während die Konzentration in der Gasphase hauptsächlich die Oberflächenkonzentration im Halbleiter bestimmt.

Das fototechnische Ätzverfahren ermöglicht es, die Diffusion und Implantation von Dotierungsstoffen auf bestimmte Gebiete der Oberfläche zu beschränken. Hierzu bringt man eine Siliciumscheibe für einige Zeit in eine sauerstoffgesättigte Atmosphäre bei 1100 °C. Es bildet sich eine dichte Schutzschicht von SiO_2 , die für die meisten Dotierstoffe (Bor, Phosphor, Arsen, Antimon) undurchdringlich ist. Wird an bestimmten Stellen der Oberfläche diese SiO_2 -Schicht gezielt entfernt, so dringt bei einer nachfolgenden Dotation oder Implantation der Dotierstoff an den oxidfreien Stellen in den Halbleiter ein.

Für die partielle Entfernung der Oxidschicht wendet man ein fotochemisches Verfahren an. Dazu trägt man einen lichtempfindlichen Lack auf die zu oxidierende Scheibe auf und belichtet ihn durch eine stellenweise geschwärzte Fotoplatte. Nach Entwicklung des Fotolackes wird die Oxidschicht an den lackfreien Stellen entfernt und der restliche Fotolack abgelöst. Im folgenden soll beispielhaft für die Branche die Herstellung von integrierten Schaltungen (IC oder Chips) sowie von Solarzellen beschrieben werden.

1.3.1 Herstellung von integrierten Schaltkreisen (IC oder chips)

In den Anfängen der Computertechnik und Elektronik wurden Vakuumröhren verwendet; letztere wurden durch die Transistoren abgelöst. Die elektronischen Bauteile waren auf Gestellen befestigt und mit Kupferdrähten verbunden. Der nächste Entwicklungsschritt bestand in mit Kupfer beschichteten Platten aus Isoliermaterial. Teile der Kupferschicht wurden abgeätzt, so dass die noch verbleibenden Teile die elektrischen

Verbindungsleitungen bildeten (Vorgänger der Printplatte). Am gegenwärtigen Stand der Entwicklung können auf einem Chip bis zu 100 000 Transistoren auf einer Fläche von wenigen Quadratmillimetern untergebracht werden.

Für die Herstellung der Chips müssen zunächst die erforderlichen Bausteine (Schaltpläne) entworfen werden. Dies erfolgt heute computergestützt. Die fertigen Designdaten werden auf ein Maskensteuerband übertragen, welches die gesamte Produktion steuert. Das Maskensteuerband wird in ein Elektronenstrahlgerät eingelesen, womit die Masken für die Belichtung und Übertragung der logischen Strukturen der Schaltpläne auf die Halbleiterscheiben (i.d.R. Siliciumscheiben) erzeugt werden. Die Masken bestehen aus Glas, auf dem sich die jeweilige zu belichtende Struktur befindet. In Abhängigkeit von der Komplexität der Schaltung sind bis zu 20 Masken bzw. Strukturebenen für die Herstellung eines Schaltkreises notwendig.

Die weitere Reihenfolge der Bearbeitung umfasst eine Vielzahl von Prozessen: Scheibenherstellung und -vorbehandlung, Epitaxie, Dotierungstechniken (Ionenimplantation und Diffusion), Oxidation, Fotolithographie, Metallisierung sowie Montage und Test. Jeder Arbeitsschritt wird mit äußerster Präzision ausgeführt, da keine Abweichungen toleriert werden können.

Silicium, das für die IC-Herstellung verwendet wird, ist ein Material, das von sich aus keinen elektrischen Strom leitet. Um Leitfähigkeit zu gewinnen muss es vorbehandelt werden. Das aus Quarzsand gewonnene Silicium wird in hochreiner Qualität als Einkristall gezogen; es dauert bis zu einer Woche, bis ein rund 1 m langer hochreiner Kristall aus der Schmelze gezogen wird. Dieser Kristall (mit einem Durchmesser von bis zu 200 mm), wird in ca. 0,5 mm (500 µm) starke Scheiben (Wafer) zersägt, geschliffen und poliert. Zur Erzielung unversehrter Kristalloberflächen müssen die mechanisch feinstbearbeiteten Wafer zusätzlichen physikalisch – chemischen Reinigungsprozessen unterzogen werden.

Um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten (z.B. eine definierte elektrische Leitfähigkeit), müssen die Siliciumscheiben mit Fremdatomen dotiert werden, d.h. in das einkristalline Siliciummaterial werden Atome fremder Elemente gezielt eingebracht. In der Regel geschieht dies heute durch Ionenimplantation. Dabei werden in einem Hochspannungsfeld die Fremdatome in den Wafer eingeschossen. Ein alternatives Verfahren ist das Diffusionsverfahren, bei welchem entweder in den ganzen Wafer oder in ein definiertes Teilgebiet (bei Anwendung entsprechender Maskenschritte) Fremdionen durch Diffusion eingeschleust werden. Beim Diffusionsverfahren werden die Siliciumscheiben in speziellen Öfen auf Temperaturen von etwa 900 °C bis 1 200 °C erhitzt. Um den Wafer fließt ein laminarer Gasstrom, der es den Fremdatomen (z.B. Phosphor oder Bor) ermöglicht infolge der starken thermischen Bewegung in den Siliciumkristall einzudringen. Beide Techniken können auch ergänzend bzw. abwechselnd für verschiedene Prozesstechnologien angewendet werden.

Die logischen Strukturen auf dem IC werden durch selektive Dotation einzelner Gebiete aufgebaut. Durch Anwendung fotolithographischer Verfahren wird festgelegt, welche Gebiete auf dem Wafer dotiert werden. Dabei wird eine lichtempfindliche Lackschicht (Fotolackmaterial) in mehreren Verfahrensschritten auf den Wafer aufgebracht, belichtet, entwickelt, nachbehandelt und weiterverarbeitet.

Durch die verschiedenen Verfahren wie Beschichtung, Dotierung etc. werden auf dem Wafer jene Strukturen erarbeitet, die die Funktionsweise des IC gewährleisten: Transistoren, Dioden, Widerstände, Kondensatoren und Verbindungsleitungen. Zur elektrischen Verbindung zwischen den verschiedenen Gebieten des IC sind Verbindungsleitungen erforderlich, die primär durch Aufbringung von Aluminiumschichten erzeugt werden. Mit Hilfe der Aluminiumschichten können in der Folge auch die Verbindungen zur Außenwelt (IC-Beinchen) hergestellt werden.

Nach Beendigung der Waferbearbeitung befinden sich oft mehrere hundert IC's mit gleicher oder verschiedenartiger Funktion auf einem Wafer. Die IC's werden voneinander getrennt (durch Zersägen des Wafers), umfangreichen elektrischen und optischen Prüfungen unterworfen und anwendungsgerecht verpackt. Jene IC's, die die Prüfverfahren überstehen, werden auf einen Kupferrahmen geklebt und mit diesem durch Gold- oder Aluminiumdraht verdrahtet. In weiterer Folge werden die IC's in Plastik- oder Keramikgehäuse eingebaut. Nach dem Versiegeln der Gehäuse werden die IC-Beinchen verzinkt, die Gehäuse markiert und jedes Produkt noch einer Prüfung unterzogen; dabei wird geprüft, ob der physikalische IC mit den Anforderungen des Entwurfes übereinstimmt.

Die Erzeugung der IC muss unter hochreinen Bedingungen erfolgen. Staub, Pollen und andere Verunreinigungen können die Funktionsweise von IC's stark beeinträchtigen. Daher findet die Herstellung von IC's in sogenannten Reinräumen statt, von denen Luftbestandteile größer als 0,001 mm durch aufwendige Filtersysteme ferngehalten werden müssen.

1.3.2 Herstellung von Solarzellen

Kristalline Solarzellen haben eine p-dotierte und eine n-dotierte Schichte. Dazwischen befindet sich eine undotierte i-Schichte, in welcher bei Lichteinwirkung die Ladungsträger erzeugt werden. Die p- und n-Schichten sorgen für den Aufbau eines elektrischen Feldes durch das die Ladungsträger getrennt und zu den Kontakten geleitet werden. Die Dotierstoffe sind bei Siliciumzellen Bor und Phosphor, bei Galliumarsenid Zink und Aluminium.

Bei amorphen Solarzellen wird die gleiche Schichtfolge in Form amorpher Dünnschichten auf einer Glasträgerplatte erzeugt.

Bei der Herstellung einer kristallinen Solarzelle laufen u. a. folgende Arbeitsschritte ab:

Damageätzung, Texturätzung, SiO₂- und Phosphordiffusion, Ablösung der SiO₂- und Phosphorglasschichte, Metallisierung, Einbrennen, Ätzreinigung, Aufbringen von Verschlussbändern und -ketten, Reinigung, Kettenverbund, Verbundlaminiieren und Modulrahmung.

1.3.3 Abwasseranfall

Bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen fallen an den verschiedensten Arbeitsschritten Abwässer an. Die anfallenden Abwassermengen erstrecken sich über eine große

Bandbreite. Von Kleinmengen aus Forschungsstätten und Pilotproduktionen mit einigen Kubikmetern pro Tag bis hin zu Großproduktionen mit mehreren 100 m³ pro Stunde sind alle Größenordnungen zu finden. Die Anforderungen an die Behandlungstechnik haben dies zu berücksichtigen.

Abwasser entsteht im wesentlichen bei nasschemischen Prozessen sowie bei der Reinigung von Abluft aus trocken- oder nasschemischen Prozessen.

Der Entwurf einer IC-Schaltung wird mittels einer Fotomaske auf den Wafer übertragen. Die Maske ist eine Fotoplatte mit lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Zonen. Die lichtundurchlässigen Bereiche sind z.B. mit Molybdän oder Chrom abgedeckt. Die Herstellung einer strukturierten Fotomaske setzt sich aus den Schritten Reinigung, Metallisierung, Fotoprozess und Ätzprozess zusammen. Abwasser aus diesen Prozessen enthält Entwicklersubstanzen, Schwefelsäure, Kaliumhexacyanoferrat, Fotolack, Cerammoniumnitrat, Perchlorsäure, Salpetersäure, Isopropanol und Chromsalze.

Mittels Fotolithographie werden die Strukturen des Chip-Entwurfes auf die Waferoberfläche übertragen. Die wichtigste Chemikalie in diesem Prozess ist der Fotolack, der licht- oder strahlungsempfindliche Polymere enthält. Als erstes wird die Waferoberfläche mit Fotolack beschichtet und durch eine Fotomaske belichtet. Man unterscheidet positivarbeitende und negativarbeitende Lacke. Beim Entwickeln wird der Positivlack an den belichteten Stellen abgelöst, der Negativlack an der unbelichteten. Die Entfernung des Fotolackes geschieht entweder durch Behandlung im Sauerstoffplasma (Plasmaveraschung) oder durch Einsatz organischer Lösungsmittel bzw. starker Säuren. Im Abwasser treten alkalische Lösungen mit Phosphaten und Silikaten, Säuren, Laugen und Lackreste auf; bei der Lackentfernung enthält das Abwasser zusätzlich Schwefel- und Salpetersäure sowie organische Lösungsmittel (N-Methylpyrrolidon, n-Butylacetat, Isopropanol, Benzin, Xylol).

Die Epitaxie dient zur Bildung einer dem Grundmaterial entsprechenden einkristallinen Schicht mit anderer Dotierung. Bei der Gasphasenepitaxie werden die epitaxialen Schichten aus der Dampfphase bei hoher Temperatur und unter Zugabe von Dotiergasen auf der Waferoberfläche abgeschieden. Als Ätzgase benutzt man SiCl₄, SiHCl₃, SiH₂Cl₂ etc. Die Wafer werden vor der Epitaxie bei hoher Temperatur mit HCl-Gas geätzt. Als Spülgas zwischen den Schritten dient Stickstoff, als Trägergas Wasserstoff und als Dotiergas z.B. Diboran oder Phosphin. Das Abwasser stammt aus der nassen Abluftreinigung, wo verdünnte Lauge oder NaOCl eingesetzt wird. Bei der Flüssigphasen-Epitaxie setzt man geschmolzene Materialien ein (z.B. Gallium). Dabei fällt kein Abwasser an.

Ziel der Dotierungstechniken ist die Herstellung von Sperrschichten im Halbleitermaterial. Als Dotiermittel werden Antimon, Arsen oder Phosphor (für n-Leitung) und borhaltige Verbindungen (für p-Leiter) eingesetzt. Bei der Dotierung selbst entsteht kein Abwasser. Abwasser fällt jedoch bei der Abluftwäsche und Anlagenreinigung an. Eine weitere Methode der Dotierung ist die Abscheidung aus der Gasphase (CVD-Verfahren). Dabei werden z.B. siliciumhaltige Gase wie Mono- und Dichlorsilan, Metallhalogenide wie z.B. Wolframhexafluorid sowie Ammoniak, Phosphin und sauerstoffabspaltende Gase eingesetzt. Auch dieser Prozess erzeugt kein Abwasser; die Abluft wird allerdings über

Wäscher oder Festbettabsorber geführt. Entweichende Prozessgase und Reaktionsprodukte werden zu Wolframat, Silikat, Molybdat, Phosphat, Fluorid oder Chlorid umgesetzt und gelangen ins Abwasser.

Ätzverfahren werden bei der IC-Herstellung in großem Umfang eingesetzt. Das Ätzen kann ganzflächig erfolgen (Damageätzen) oder sich nur auf nicht abgedeckte Stellen beziehen (Strukturätzen). Das Ätzen erfolgt im Nass- oder Trockenprozess.

Beim Nassätzen werden Tauch- oder Sprühverfahren eingesetzt. Das Ätzmedium wird so ausgewählt, dass nur die oberste Schicht des Wafers selektiv aufgelöst wird, ohne die darunterliegende Schicht anzugreifen. Als Ätzmedien dienen Salpetersäure, Flusssäure, Essigsäure, Phosphorsäure, Ammoniumfluorid, Kalilauge oder deren Gemische. Nach jedem Ätzvorgang werden die Wafer mit hochreinem Wasser gespült. Als Abwasserinhaltsstoffe kommen Fluss-, Salpeter-, Essig-, Zitronen- und Phosphorsäure, Ammoniumfluorid, Hexafluorkieselsäure, Kalilauge, Glykol und Isopropanol in Betracht; bei Herstellung von Galliumarsenid - Halbleiterbauelementen können zusätzlich Gallium- und Arsenalze im Abwasser enthalten sein.

Die Trockenätztechnik wird unter Vakuum ausgeführt. Voraussetzung ist, dass sowohl die Ätzgase wie auch die Reaktionsprodukte aus der Ätzung gasförmig sind. Als Ätzgase werden Verbindungen wie CF_4 , NF_3 , SF_6 , BF_3 , CHF_3 , C_2F_6 , CCl_4 , Cl_2 , BCl_3 oder SiCl_4 eingesetzt. Die Gase werden durch hochfrequente elektrische Felder ionisiert. Die gasförmigen Reaktionsprodukte der Trockenätzung werden mittels Vakuum abgesaugt. Der Trockenätzvorgang wird abwasserfrei geführt, erforderlichenfalls muss aber ein Nasswäscher zur Abgasreinigung eingesetzt werden.

Jede noch so geringe Kontamination von Waferoberflächen beeinträchtigt die spätere Funktion der Chips. Aus diesem Grund müssen vor jedem wesentlichen Arbeitsschritt die Scheiben von gelösten oder partikulären Verunreinigungen befreit werden. Dies soll verhindern, dass die Haftung von Schutzschichten und Kontaktmetallen beeinträchtigt wird und dass Verunreinigungen eindiffundieren, die elektrische oder optische Eigenschaften der Bauelemente unerwünscht verändern können. Als Reinigungsmittel werden Reinstwasser, wässrige Lösungen von Ammoniak oder Wasserstoffperoxid oder Salpetersäure, Essigsäure, Schwefelsäure, Salzsäure oder Flusssäure; bei Galliumarsenid-Halbleitern können zusätzlich Gallium- und Arsenalze auftreten.

Bei der Fertigung von Halbleiterbauelementen werden an den einzelnen Bauteilen mechanische Bearbeitungen vorgenommen. Die Wafer werden nach ihrer Fertigstellung durch Schleifen auf die erforderliche Scheibenstärke reduziert. Zur Einebnung der Oberflächen sind Läpp- oder Polierprozesse üblich. Die Läppmittel enthalten u.a. Siliciumcarbid, SiO_2 oder Aluminiumoxid, die in Wasser oder Laugen aufgeschlämmt sind. Nach dem Fertigstellen werden die Chips aus dem Waferverbund herausgesägt. Dabei wird Wasser als Kühlmittel verwendet. Bei der Chipmontage werden Verfahren wie Kleben, Löten oder Galvanisieren eingesetzt. Der fertig montierte Chip wird in der Regel in ein Gehäuse aus Metall, Keramik oder Kunststoff eingesetzt. An Abwasserinhaltsstoffen können aus diesen Prozessen Siliciumpartikel, Läppmittelreste, Gallium- und Arsenverbindungen (bei Einsatz von Galliumarsenidhalbleitern) auftreten.

Aus der Chipmontage können Blei, Kupfer, Zinn, Gold, Nickel, Fließmittel und Komplexbildner ins Abwasser gelangen.

Abwasserproduzierende Hilfstätigkeiten sind die Teilereinigung, der Chemikalienansatz und die Fotomaskenherstellung. Gereinigt werden Quarz- und Glasteile, Anlagenteile, Boxen und Carrier. Eingesetzt als Reinigungsmittel werden Säuren, Laugen, organische Lösungsmittel wie Ethanol, Isopropanol, N-Methylpyrrolidon, Aceton oder wässrige Tensidlösungen. Aus dem Chemikalieneinsatz können über Reinigungswässer alle in der Produktion verwendeten Roh-, Arbeits- und Hilfsstoffe ins Abwasser gelangen.

Zur Fertigung von IC's werden große Mengen hochreinen Wassers benötigt. Dieses Wasser muss frei sein von gelösten Stoffen, organischen Stoffen und Partikeln. Zur Bereitstellung dieses hochreinen Wassers kommen Kombinationen von Wasseraufbereitungstechniken wie Ionentauscher, Membrantechniken etc. zur Anwendung.

1.4 Keramische Bauteile für elektronische Anwendungen

Keramische Bauelemente aus polykristallinen halbleitenden Materialien nehmen in der Elektronik ebenso eine Schlüsselrolle ein wie in der Telekommunikationstechnik und der Informationstechnologie. Die Bauteilgruppen definieren sich vor allem durch ihre Anwendungsgebiete. Hervorstechendes Merkmal ist eine immer weiter vorangetriebene Miniaturisierung (z.B. Vielschichtkondensatoren im Submillimeterbereich).

Die Anwendungen definieren sich auch durch die Anforderungen an die Bauelemente, deren Herstellungsvorgang sich von jenem keramischer Elemente in anderen Bereichen signifikant unterscheidet (z.B. für Isolatoren, Katalysatoren und andere Hochleistungskeramiken). Keramische Bauteile für elektronische Anwendungen erfordern höchste Ansprüche bei der Reinheit der Ausgangsstoffe, beim Fertigungsablauf und bei der Maßhaltigkeit der Bauteile.

Die Herstellung erfolgt in der klassischen Fertigung nach dem Fließprinzip (unterteilt nach Vorfertigung und Montage, wobei in allen Fertigungsbereichen eine große Anzahl an Rohstoffen, Hilfsmitteln, Mitteln zur Oberflächenvergütung etc. zum Einsatz kommt).

Unterschieden werden in der Produktion

- Heißeiter (NTC), deren Widerstandswert bei zunehmender Temperatur sinkt. Sie werden aufgrund ihrer engen Toleranzbereiche bevorzugt als Temperaturfühler in unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt und bestehen hauptsächlich aus Mangan-, Cobalt- und Nickeloxiden
- Kaltleiter (PTC), deren Widerstandswert bei zunehmender Temperatur ansteigt. Sie werden für den elektronischen Überlastungsschutz, selbstregelnde Thermostate, Heizelemente und in der Mess- und Regelungstechnik eingesetzt. Sie bestehen hauptsächlich aus Bariumtitanat, welches mit Blei, Calcium oder Strontium dotiert wird

- Metalloxid - Varistoren, deren elektrischer Widerstand spannungsabhängig ist. Sie werden vorwiegend als Überspannungsschutz eingesetzt (von 5 bis 1 500 V) und bestehen hauptsächlich aus Zinkoxid, welches mit Wismut, Cobalt oder Antimon dotiert wird
- Keramische Vielschichtkondensatoren, die aufgrund ihrer kleinen Bauformen in Schwingkreisen, elektronischen Filtern, Zeitgliedern und Kupplungen eingesetzt werden. Sie bestehen hauptsächlich aus Bariumtitanat, welches mit Blei, Magnesium, Neodym oder Wismut dotiert wird
- Mikrowellenkeramik, die aufgrund ihrer Temperaturstabilität als frequenzbestimmende Bauelemente in TV-Satellitenempfängern, Detektoren, Mobiltelefonen, Funkgeräten etc. eingesetzt werden. Sie bestehen hauptsächlich aus Bariumtitanat, welches mit Calcium, Magnesium oder Neodym dotiert wird.

Bei der Herstellung keramischer Bauteile werden die Rohmaterialien gemischt und gemahlen, entwässert, mit organischen Bindern (Polyvinylalkohole, Polyethylenglykole) versetzt, sprühgetrocknet und in die jeweiligen Formen gepresst; bei Vielschichtbauelementen werden zwischen den einzelnen Schichten Folien eingezogen. Anschließend erfolgt in Hochtemperaturbehandlungen (bei Temperaturen größer 1000 °C) die Herstellung der Keramiken (Binderausbrand, Sinterung). Die daran anschließenden Folgeprozesse (Endfertigung, Montage) variieren in Abhängigkeit vom jeweiligen Bauelementtyp stark. Sie umfassen in der Regel Vorgänge wie Metallisierung (Aufbringen von Metallpasten, Galvanisieren, Sputtern), Anlöten von Drähten, Einhüllung in Harze oder Lacke und Verpackung.

Abwasser entsteht bei der Herstellung von keramischen Bauteilen für elektronische Anwendungen beim Abpressen der keramischen Massen, bei der Produktwäsche (z.B. nach nassen Schleifvorgängen), bei der Abluftwäsche sowie bei der Anlagenreinigung. Als Inhaltsstoffe des Abwassers sind vor allem die eingesetzten Metalloxide und Dotierstoffe, die gewonnenen Keramiken sowie die Hilfsstoffe (organische Binder, Schleifmittelreste) zu nennen.

2. Geltungsbereich

Entsprechend den in Kapitel 1 geschilderten Tätigkeiten des Herkunftsbereiches der AEV Halbleiterbauelemente wird der Geltungsbereich der Verordnung abgegrenzt wie folgt:

1. Herstellen von Halbleiterbauelementen (Gleichrichter, Transistoren, Dioden, Thyristoren, Triacs, integrierte Schaltungen u.ä.) einschließlich der zugehörigen Vor-, Zwischen- und Nachbehandlungen
2. Herstellen von Solar- und Fotozellen einschließlich der zugehörigen Vor-, Zwischen- und Nachbehandlungen
3. Herstellen von keramischen Bauteilen für elektronische Anwendungen.

Anlagen zur Reinigung von Abluft sind integrierte Bestandteile von Betrieben zur Herstellung von Halbleiterbauelementen. Aufgrund der meist engen baulichen und betrieblichen Verbindungen zwischen Produktions- und Abluftbehandlungsanlagen ist eine gesonderte Erfassung und Behandlung von Abluftwaschwasser in den meisten Fällen nicht oder nur mit unvertretbarem Aufwand möglich. Daher wird die Behandlung von Abluft aus Prozessen der Z 1 bis 3 mit wässrigen Medien in den Geltungsbereich der AEV Halbleiterbauelemente mit eingeschlossen; § 4 Abs. 7 AAEV betreffend den Abwasserteilstrom aus der Abluftbehandlung gilt nicht.

In Verbindung mit der Herstellung von Halbleiterbauelementen können nachstehend genannte Abwässer anfallen:

- Abwasser aus Kühlsystemen und Dampferzeugern
- Abwasser aus Laboratorien
- Abwasser aus der Wasseraufbereitung
- Abwasser aus der Herstellung von Leiterplatten
- Abwasser aus der Herstellung von Grundstoffen für Halbleiterbauelemente (Raw Wafers)
- Häusliches Abwasser.

Für die genannten Abwässer gelten eigene Spartenabwasserverordnungen. Bei gemeinsamer Ableitung derartiger Abwässer mit Abwasser aus Produktionen der Z 1 bis 3 sind die Mischungs- und Teilstrombehandlungsregeln des § 4 Abs. 5 bis 7 AAEV einzuhalten.

Bei Herstellungsprozessen der Z 1 bis 3 werden häufig auch galvanische Prozesse eingesetzt (Abscheidung von Metallen auf metallischen oder nichtmetallischen Oberflächen mit elektrochemischen oder chemisch-reduktiven Verfahren). Abwasser aus derartigen Prozessen ist als Teilstrom im Sinne des § 4 Abs. 7 AAEV zu behandeln; für einen maßgeblichen gefährlichen Inhaltsstoff dieses Abwassers ist die Emissionsbegrenzung entsprechend der AEV Oberflächenbehandlung (§ 4 Abs. 2 Z 6.4 AAEV) vor Vermischung mit sonstigem (Ab)Wasser einzuhalten (siehe § 4 Abs. 7 Z 1 AAEV).

3. Gegenwärtige Entsorgungssituation

Derzeit werden Halbleiterbauelemente an 4 Standorten in Österreich hergestellt. Ein Betriebe leitet sein Abwasser ständig in ein Fließgewässer ein, zwei Betriebe sind Indirekteinleiter in öffentliche Kanalisationen. Ein Betrieb leitet sein Abwasser in Abhängigkeit von der Beschaffenheit entweder in ein Fließgewässer oder in eine öffentliche Kanalisation ein. Die Anforderungen der AEV betreffend den innerbetrieblichen und exter-

nen Stand der Technik sind bereits teilweise umgesetzt. Die AEV Halbleiterbauelemente wird zu einer Vereinheitlichung der Anforderungen führen und die Grundlage für die noch offenen Anpassungsschritte bilden.

4. Stand der Technik

Nachstehend genannte Maßnahmen des Standes der Technik können im Tätigkeitsbereich Herstellung von Halbleiterbauelementen in Erwägung gezogen werden, um die Emissionsbegrenzungen der AEV einzuhalten:

1. Verminderung des Wasserverbrauches und Abwasseranfalles durch
 - Einsatz wassersparender Spültechniken (z.B. Mehrfachkaskaden, Tauchspritzspülen, Leitfähigkeitsweichen etc.)
 - Auftrennung der Spülwässer in für die Mehrfachverwendung geeignete und ungeeignete Teilströme mit Mehrfachverwendung der geeigneten Spülwässer nach Zwischenreinigung (z.B. durch Ionentausch, Membrantechnik u.ä.)
 - weitestgehende Kreislaufführung von Wasser aus der Abluftwäsche
 - Weiterverwendung schwach belasteter Teilströme in anderen Bereichen (z.B. als Kühlwasser, Reinigungswasser, Waschwasser in der Abluftwäsche, in der Galvanik oder der Leiterplattenherstellung)
 - Einsatz von Speicherbecken zur Sammlung von Spritzverlusten, Reinigungswässern oder Leckagen
 - Weiterverwenden verbrauchter Prozesslösungen (z.B. Säuren, organische Lösungsmittel);
2. vom Prozessabwasser gesonderte Erfassung und Behandlung von Retentat aus der Reinstwasseraufbereitung und Behandlung entsprechend der AEV Wasseraufbereitung (z. B. mittels Membranverfahren);
3. Verzicht auf den Einsatz von gasförmigen Halogenen, soweit dies aufgrund der angewandten Produktionsverfahren möglich ist; weitestgehender Verzicht auf den Einsatz halogenierter organischer Lösungsmittel, sofern die Gefahr besteht, dass diese mit Wasser in Kontakt kommen können;
4. Verzicht auf den Einsatz von Arbeits- oder Hilfsstoffen mit wassergefährdenden Eigenschaften, soweit dies aufgrund der eingesetzten Produktionsverfahren möglich ist; Beachtung der ökotoxikologischen Angaben in den Sicherheitsdatenblättern der eingesetzten Stoffe; weitestgehender Verzicht auf den Einsatz von Polyaminocarbonsäuren und deren Salzen;

5. Bevorzugter Einsatz physikalisch - chemischer Verfahren zur Zerstörung von Komplexbildnern; bei Einsatz chemischer Verfahren bevorzugte Anwendung von Ozon, Wasserstoffperoxid oder anderer Persauerstoffverbindungen; weitestgehender Verzicht auf den Einsatz von Chlor oder chlorabspaltenden Chemikalien;
6. Gesonderte Erfassung und Reinigung arsen-, cadmium-, selen- und komplexbildnerhaltiger Abwasserteilströme;
7. Einsatz von Pufferbecken zur Abminderung von Abwassermengen- und Schmutzfrachtspitzen;
8. Einsatz physikalisch-chemischer oder chemischer Abwasserreinigungsverfahren für einzelne Teilströme (z.B. Oxidation/Reduktion, Fällung/Flockung, Extraktion, Membrantechnik, Elektrolyse) und für das Gesamtabwasser (z.B. Neutralisation, Sedimentation, Filtration, Fällung/Flockung, Ionentausch);
9. Vom Abwasser gesonderte Erfassung und Verwertung der Rückstände aus der Produktion und Verarbeitung sowie der bei der Abwasserreinigung anfallenden Rückstände oder deren Entsorgung als Abfall (AWG, BGBl. Nr. 325/1990).

5. Parameterauswahl und Emissionsbegrenzungen

Das Abwasser aus der Herstellung von Halbleiterbauelementen enthält die Bestandteile der Grundstoffe (Wafers), die eingesetzten Roh-, Arbeits- und Hilfsstoffe sowie die Reaktionsprodukte, die während der Herstellungsvorgänge entstehen. Dementsprechend muss durch geeignete Parameterauswahl für die Überwachung das gesamte Stoffinventar unter Kontrolle sein.

5.1 Parameterauswahl

Die allgemeinen Parameter Temperatur, Abfiltrierbare Stoffe und pH-Wert beschreiben den Inhalt des Abwassers an thermischer Energie und Feststoffen sowie den Säure-Basengehalt.

Der Parameter Toxizität erfasst unter Einsatz verschiedener Testorganismen (Bakterien, Fische) akut toxische Auswirkungen auf aquatische Biozönosen. Beim Indirekteinleiter kann mittels Hemmtest geprüft werden, ob das Abwasser negative Auswirkungen auf die Abbauvorgänge in der Biomasse der öffentlichen Abwasserreinigungsanlage hat (Sauerstoffverbrauchshemmtest, Nitrifikationshemmtest). Das dazugehörige Prüfinstrumentarium ist in Anlage C der AAEV beschrieben.

Die Metalle und Metalloide Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom-Gesamt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Selen, Zink und Zinn werden universell oder aber vereinzelt produktionsspezifisch im Abwasser der Halbleiterindustrie angetroffen. Bor wird als Dotationselement eingesetzt. Ammonium stammt aus nasschemischen Anwendungen. Fluorid

stammt aus der Anwendung fluorhaltiger Ätze oder aus dem Einsatz von Flusssäure. Der Gesamte gebundene Stickstoff (TN_b) erfasst alle stickstoffhaltigen Verbindungen des Abwassers, so auch z.B. Nitrate aus dem regelmäßigen Einsatz von Salpetersäure. Phosphorverbindungen stammen aus dem Einsatz von Phosphor als Dotierungselement, aber auch aus dem nasschemischen Einsatz von Phosphorsäure oder Phosphorverbindungen. Sulfat im Abwasser resultiert primär aus dem Einsatz von Schwefelsäure.

Die organischen Verbindungen des Abwassers werden insgesamt durch die Parameter TOC und CSB bzw. gruppenbezogen durch die Parameter AOX, Summe der Kohlenwasserstoffe, POX, Tenside und Aromaten (BTXE) erfasst. Sie stammen aus Fotolacken, Lösungsmitteln, grenzflächenaktiven Stoffen etc.

5.2 Emissionsbegrenzungen

Die Emissionsbegrenzungen der Anlage A der AEV Halbleiterbauelemente beziehen sich auf die Beschaffenheit des Gesamtabwassers an der Einleitungsstelle in ein Fließgewässer oder eine öffentliche Kanalisation. Die Grenzwerte sind durch Einsatz bewährter physikalischer, chemischer und physikalisch-chemischer Abwasserreinigungsverfahren oder deren Kombinationen zuverlässig einhaltbar (sh. Kap. 4).

Zusätzlich zu den Anforderungen für das Gesamtabwasser definiert die AEV auch Anforderungen an Abwasserteilströme. Diese betreffen die Elemente Arsen, Cadmium und Selen:

- Arsen

Erfolgt im Zuge der Herstellung von Halbleiterbauelementen auch eine Herstellung von Galliumarsenid-Elementen, so ist zusätzlich zum Grenzwert für Arsen im Gesamtabwasser von 0,1 mg/l ein Arsengrenzwert von 0,3 mg/l im Abwasserteilstrom aus der Galliumarsenid-Halbleiterbauelementfertigung einzuhalten.

- Cadmium

Betreffend Cadmium gilt eine generelle Forderung nach Teilstrombehandlung in jedem Abwasserteilstrom der Halbleiterbauelementfertigung, in welchem die Konzentration an Cadmium größer ist als 1,0 mg/l. Erfolgt in einem Betrieb oder einer Anlage neben der Herstellung sonstiger Halbleiterbauelemente auch eine solche für Cadmiumselenid-Halbleiterbauelemente, so ist die Emissionsbegrenzung von 0,1 mg/l auch im Teilstrom aus der CdSe-Halbleiterbauelementfertigung einzuhalten.

- Selen

Für Selen gilt eine sinngemäße Regelung wie für Cadmium. Jeder Abwasserteilstrom, der in ungereinigtem Zustand eine Se-Konzentration von größer als 5 mg/l aufweist, ist vor Vermischung mit sonstigem Abwasser auf 0,5 mg/l Se vorzureinigen. Erfolgt neben der Herstellung sonstiger Halbleiterbauelemente auch die Herstellung von CdSe-Halbleiterbauelementen, so ist die Emissionsbegrenzung für Selen auch im Abwasserteilstrom aus der Cadmiumselenid-Halbleiterbauelementherstellung einzuhalten.

Beim Parameter Fluorid kann bei Nachweis einer Mindestrate der Spülwasserkreislauf-führung von größer als 50% ein Emissionsgrenzwert von 50 mg/l beansprucht werden (gegenüber 30 mg/l bei Verzicht auf Kreislaufführung oder bei Kreislaufführungsrate von nicht größer als 50%).

6. Umsetzung wasserbezogener EU-Richtlinien

Gemäß RL 76/464/EWG legt die EU Programme zur Vermeidung oder Verminderung der Gewässerbelastung durch Stoffe der Liste I (Schwarze Liste) fest. Für Stoffe der Liste II (Graue Liste) legen die Mitgliedstaaten Programme zur Vermeidung der Gewässerbelastung fest; weiters legen sie für jene Stoffe der Liste I, die seitens der EU noch nicht geregelt sind, interimistisch autonome Regelungen fest.

Für folgende Stoffe der Liste I wurde bisher durch eine Einzelrichtlinie eine Emissionsbegrenzung seitens der EU festgelegt :

RL 83/514/EWG Grenzwerte und Qualitätsziele für Cadmiumableitungen

Die AEV Halbleiterbauelemente stellt die Umsetzung dieser Vorgaben in nationales Recht um.

Als Stoffe der Liste II kommen in Betracht:

Antimon, Arsen, Blei, Chrom-Gesamt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Selen, Zink, Zinn, Ammonium, halogenorganische Verbindungen (als AOX), Kohlenwasserstoffe, leichtflüchtige halogenorganische Verbindungen (als POX) und Aromaten (BTXE).

Die AEV Halbleiterbauelemente stellt das nationale Programm (Art. 7 der RL) zur Verminderung der Gewässerbelastung durch Stoffe der Liste II aus dem Bereich der Herstellung von Halbleiterbauelementen dar.

7. Fristen

Die AEV Halbleiterbauelemente wurde am 18. Juli 2000 kundgemacht. Sie tritt ein Jahr nach der Kundmachung in Kraft. Am Tag des Inkrafttretens der AEV rechtmäßig bestehende Abwassereinleitungen haben innerhalb von 5 Jahren den Anforderungen der AEV zu entsprechen.