

Probleme der Festkörperelektronik

Diese Buchreihe von 12 Bänden wurde herausgegeben vom VEB Halbleiterwerk Frankfurt(Oder) in den Jahren 1969 bis 1981.

Redaktion:

Prof. Dr. Auth, Humboldt-Universität, Berlin

Dr. Bartels, Arbeitsstelle für Molekularelektronik, Dresden (AMD)

Dipl.-Phys. Bödelt, VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder (HFO)

Dr. Braasch, VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder

Dipl.-Phys. Hornung, VEB Werk für Fernsehelektronik, Berlin (WFB)

Klaus-Dieter Lehrack, VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

Dr. Mittenentzwei, VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder (GWS)

Prof. Dr. habil. Paul, Technische Hochschule, Karl-Marx-Stadt

Dipl.-Phys. Windel, VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

Das Gesamtwerk wurde vollständig digitalisiert und zur besseren Übersicht die nachfolgenden Inhaltsangaben zusammengestellt.

ZUM GELEIT

Die heutige Entwicklung in der Elektronik, 20 Jahre nach der Erfindung des Transistors, ist noch immer in stärkster Bewegung, Der Anwender stellt jetzt an die Parameter der Bauelemente ständig höhere Anforderungen, die einerseits durch die Möglichkeiten des derzeitigen Standes der Technik beschränkt sind und andererseits durch die Naturgesetze, auf denen die Bauelementekonstruktionen beruhen.

Hierbei bezieht sich der Stand der Technik sowohl auf die technologischen Verfahren, mit denen die Festkörperkonstruktionen hergestellt werden, als auch auf die Werkstoffe, die zur Herstellung der Festkörperbauelemente benötigt werden.

An der Lösung der damit verbundenen Fragen sind die Forschungsstellen der Industrie als auch der akademischen Institutionen gleichermaßen beteiligt.

Die enge Verbindung zwischen theoretischer Grundlagenforschung und praxisverbundener, industrieller Entwicklung kommt wohl nirgends so deutlich zum Ausdruck wie in der Festkörperelektronik.

Neue Materialien, Technologien, Untersuchungs- und Messverfahren und nicht zuletzt neue physikalische Effekte, die bei Bauelementekonstruktionen angewendet werden können, bestimmen in den kommenden Jahren die Weiterentwicklung auf diesem Gebiet.

So ist es ein glücklicher Gedanke, mit dieser Veröffentlichungsreihe "Probleme der Festkörperelektronik" einen ständigen Überblick über die geleisteten Arbeiten zu geben und gleichzeitig den Gedankenaustausch auf diesem Gebiet zu fördern.

Die der Lösung harrenden Aufgaben sind so umfangreich und vielgestaltig, daß das oft noch anzutreffende Spezialistentum besonders hier zur Isolation führt. Gerade deshalb muß die Zielstellung dieser Publikation, Theorie und Praxis gleichermaßen zu Worte kommen zu lassen, begrüßt werden,

Prof. Dr. Matthias Falter

Nationalpreisträger

Band 1

Erschienen: 1969

VORWORT

Die Erfindung des Transistors im Jahre 1948 hat in kurzer Zeit zu erheblichen Fortschritten in einer ganzen Reihe wissenschaftlicher und technischer Disziplinen geführt, und die wirtschaftliche Bedeutung dieser Entdeckung als Teil der technischen Revolution ist in allen Bereichen spürbar geworden. Die von dieser Erfindung angeregte umfangreiche Forschungstätigkeit hat wiederum das Auffinden neuartiger Prinzipien begünstigt, die durch die enge Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Technikern schnell eine industrielle Nutzung gefunden haben.

Neben die klassischen aktiven elektronischen Bauelemente - bipolare Transistoren und Feldeffekttransistoren - sind in den letzten Jahren Anordnungen getreten, deren Funktionsprinzipien vom strukturellen Aufbau homogener Festkörper abhängen. Insbesondere in diesem modernen Bereich der Halbleitertechnik spielen halbleitende Verbindungen eine zunehmende Rolle.

Wenn weiterhin bedacht wird, daß nahezu sämtliche in Betracht zu ziehen den Bauelementeprinzipien der Halbleitertechnik schon im frühen Stadium ihrer Untersuchung auf Eignung zur Integration in Festkörperschaltkreisen geprüft werden, leuchtet ein, daß umfangreiche Forschungsarbeiten auf wissenschaftlichem und technischem Gebiet unternommen werden müssen. Die schwierigen Detailprobleme aus Physik und Chemie, Technologie und Konstruktion verlangen nicht nur eingehende Untersuchungen und Diskussionen, sondern auch eine enge Zusammenarbeit zwischen diesen Disziplinen in der Theorie und Praxis.

Mit den in diesen Bänden zu behandelnden Problemen wollen wir versuchen, diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen. Dabei soll unter der Bezeichnung "Festkörperelektronik" die Skala der von der reinen Festkörperphysik bis zur Herstellung von Bauelementen reichenden Wissensgebiete verstanden werden. Damit soll gleichzeitig der Rahmen der hier zu behandelnden Problemkreise umrissen sein, und der Herausgeber wird es sich angelegen sein lassen, in den folgenden Bänden Technik und Wissenschaft gleichermaßen zu Worte kommen zu lassen, um damit zu der erforderlichen engen Verbindung dieser beiden Disziplinen, die gerade auf diesem Gebiet so notwendig ist, beizutragen,

Diese Bände, für die ein jährliches Erscheinen vorgesehen ist, sollen über Ergebnisse der auf den Teilgebieten der Festkörpertechnik durchgeführten Arbeiten in den Betrieben und wissenschaftlichen Einrichtungen der Deutschen Demokratischen Republik berichten, wobei neben zusammenfassenden Darstellungen auch Veröffentlichungen zu Einzelproblemen Aufnahme finden sollen, und es bleibt zu wünschen, daß sie nach einigen Jahren einen Überblick über dieses Gebiet ermöglichen,

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Joachim Auth:

Stand und Perspektive der physikalisch-technologischen Erkenntnisse bei
der Herstellung von Halbleiterbauelementen 11

Hans Flietner, Horst Braasch:

Die Halbleiteroberfläche und ihre Bedeutung für Halbleiterbauelemente 33

Hartwin Obernik, Heinz Hornung:

Golddiffusion in Silizium 81

Siegfried Pfüller:

Untersuchungen an Halbleiter-Heteroübergängen 113

Hans-Werner Mittenentzwei:

Mikrowellenerzeugung mit Halbleitern 149

Reinhold Paul:

MIS-Technik und ihre Anwendung bei elektronischen Bauelementen 177

Joachim Auth

Stand und Perspektive der physikalisch-technologischen Erkenntnisse bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen. 1)

Von der historischen Entwicklung der Halbleitertechnik ausgehend wird gezeigt, daß die Epitaxie-Planar-Technik die vollkommenste Technologie zur Herstellung bipolarer, d. h. mit Minoritätsträgerinjektion und pn-Übergängen arbeitender, Halbleiterbauelemente und integrierter Festkörperschaltkreise (Halbleiterblockschaltungen) ist. Die wesentlichsten Grundzüge dieser Technologie werden dargelegt, und am Beispiel des Transistors wird gezeigt, wie und warum gerade diese Technologie die vollkommene Realisierung des Transistorprinzips gestattet. Die physikalischen Grenzen des Transistors und der Einfluß des verwendeten Halbleitermaterials werden diskutiert. Ähnliche Probleme, die bei Starkstrombauelementen auftreten, werden kurz gestreift.

¹⁾ Überarbeitete und erweiterte Fassung eines Vortrags, gehalten am 27. 9.1967 auf dem II. Halbleiterbauelemente-Symposium des VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder) in Eisenhüttenstadt.

Hans Flietner / Horst Braasch

Die Halbleiteroberfläche und ihre Bedeutung für Halbleiterbauelemente

Eine Reihe wichtiger elektrischer Eigenschaften von Halbleitern werden durch das elektronische Verhalten der Oberfläche bestimmt. Es wird eine Einführung in die wichtigsten Grundtatsachen dieses Verhaltens gegeben. In einem zweiten Teil wird die praktische Anwendung der Behandlung der Oberfläche am Beispiel der nassen Ätzung und der Erzeugung von Schutzschichten erläutert. Dabei wird zugunsten eines systematischen Überblicks die Vielfalt der Erscheinungen auf wesentliche Grundzüge reduziert. In diesem Sinne ist auch das Literaturverzeichnis angelegt worden, jedoch so, daß für alle weiteren Fragen der Weg in die Literatur zur genaueren Information geöffnet bleibt.

Hartwin Obernik / Heinz Hornung

Golddiffusion in Silizium

Im Fertigungsablauf schnell schaltender Halbleiteranordnungen aus Silizium erfolgt der Goldeinbau durch Diffusion meist im letzten Hochtemperaturprozeß. Je nach der Konstruktion der Halbleiteranordnung bestimmen Wechselwirkungen des Goldes mit dem realen Wirtgitter oder mit den im Gitter eingelagerten Fremdatomen das physikalische Verhalten des Goldes. Von Interesse ist die Verteilung und Löslichkeit des Goldes und die Beeinflussung der Gitterperfektion. Die Reproduzierbarkeit des elektrisch wirksamen Anteils des eindiffundierten Goldes hängt vom Ablauf und den Bedingungen des Temperatur-Zeit-Programms der Temperung und der Vorbehandlung und Qualität des Materials ab. Der Diffusionsvorgang läßt sich mit Hilfe eines Substitutions-Zwischengitterplatzmechanismus deuten.

Die elektrische Natur des diffundierenden Goldes im Stadium der Eigenleitung des Siliziums bei Temperaturen von 800 bis 1300 °C ist ungeklärt. Die Darstellung der Wechselwirkung des Goldes mit den Fremdatomen Bor, Phosphor, Arsen und Sauerstoff ergibt, daß einige dieser Fremdatome für Anomalien des Diffusions- und Lösungsvermögens des Goldes verantwortlich sind, Ähnliche Anomalien können auch durch bestimmte mechanische Zustände der Scheibenoberfläche verursacht werden.

Eine einheitliche und widerspruchsfreie Deutung der experimentellen Befunde ist gegenwärtig noch nicht möglich.

Siegfried Pfüller

Untersuchungen an Halbleiter-Heteroübergängen

In der Arbeit werden - von den Unterschieden zum Halbleiter-Homoübergang ausgehend - zusammenfassend die möglichen Konfigurationen von Heteroübergängen an Hand der Bändermodelle dargestellt. Allgemeine Gesichtspunkte werden angegeben.

Die theoretischen Betrachtungen beschränken sich auf Heteroübergänge ohne Zwischenschichtdefekte, wobei besonders die Kombination Ge/GaAs beachtet wird.

Für die Herstellung der Übergänge wird eine modifizierte Sandwich-Methode beschrieben, kristallografische und röntgenografische Untersuchungen über die Qualität der Schichten und Übergänge werden diskutiert. Die Diskussion der statischen und dynamischen Eigenschaften von Ge/GaAs-Heteroübergängen läßt erkennen, daß für diese Kombination wesentliche

Elemente der Schottky-Shockleyschen Theorie für Homoübergänge verwendet werden und zur Beschreibung dieser Heteroübergänge dienen können.

Am Schluß werden einige technische Anwendungsmöglichkeiten von Heteroübergängen diskutiert.

Hans-Werner Mittenentzwei

Mikrowellenerzeugung mit Halbleitern

In dieser Arbeit werden die dem Gunn-Effekt und seinen Modifikationen zugrunde liegenden physikalischen Mechanismen zusammenfassend, dargestellt.

Die Entstehung von negativen differentiellen Volumenleitfähigkeiten und die Ausbildung von Akkumulations- und Dipoldomänen werden erörtert. Bezüglich der Ausbreitung stabiler Dipoldomänen werden verschiedene rechnerische Näherungen verglichen.

Das Prinzip der LSA-Mode wird behandelt.

Die Problematik von Lawinenlaufzeit-Dioden wird kurz umrissen.

Reinhold Paul

MIS-Technik und ihre Anwendung bei elektronischen Bauelementen

Ausgehend von der historischen Entwicklung der Feldeffekttransistoren, erfolgt zum besseren Verständnis der elektronischen Eigenschaften der MIS-Bauelemente zunächst eine kurze Darlegung der Eigenschaften der MIS-Kapazität unter Einschluß der Oberflächenzustände und Möglichkeiten zur Auswertung von MIS-Messungen. Reale Oberflächen zeichnen sich u.a. durch zusätzliche Oxidladungen und Drifterscheinungen aus. Die Eigenschaften der MIS-Struktur sind abhängig von den verwendeten Materialien, besonders aber vom Oxid und seiner Herstellung. Die verschiedenen Verfahren werden erläutert.

Die MIS-Struktur wird vorzugsweise im MIS-Transistor angewendet, dessen wesentliche elektrische Eigenschaften (Gleichstromverhalten, Vierpol- und Frequenzeigenschaften, Ersatzschaltungen, Schaltverhalten, Rauschen, Temperaturverhalten) diskutiert werden. Auf einige im Laborzustand vorhandene MIS-Bauelemente wird kurz eingegangen.

Band 2

Erschienen: 1970

VORWORT

Der zweite Band der Reihe "Probleme der Festkörperelektronik" enthält überwiegend Beiträge zu speziellen Problemen einzelner Bauelemente. Damit soll der Leser mit einigen Fragen bekannt gemacht werden, die bei der Bauelementeherstellung von Bedeutung sind. Einen selektierten Querschnitt über einige, allgemein im Mittelpunkt der Untersuchungen stehende Gebiete vermitteln die Übersichtsarbeiten, die den gegenwärtigen Stand zusammenfassen.

Wiederum kann der Herausgeber dem VEB Verlag Technik und insbesondere seiner Lektorin, Frau Dipl.-Ing. M. Rumpf, für die Mühe und Sorgfalt beim Zustandekommen dieses Bandes danken.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Dietrich Theß:

Statische Kennlinienparameter realer Dünnschicht-Feldeffekttransistoren 7

Dieter Thor:

Zum Einfluß von Konstruktionsgrößen auf die Charakteristik von
Si-pn-Unijunction-Transistoren 51

Hartwin Obernik:

Golddiffusion in Silizium II 67

Karl Ernst Ehwald, Hans Trompter:

Direkte Mikrowellenerzeugung mit Halbleiterbauelementen 133

Dieter Geisler:

Halbleiterinjektionslaser 165

Reinhold Günther Köhler:

Das statische Verhalten von Thyristoren 203

Dietrich Theß

Statische Kennlinienparameter realer Dünnschicht-Feldeffekttransistoren

Der Einfluß einiger praktisch wichtiger Ausgangsparameter von Dünnschicht-Feldeffekttransistoren auf deren statische Strom-Spannungs-Kennlinien wird analytisch untersucht und anhand einiger Messergebnisse illustriert. Insbesondere wird ein Kennlinienparameter $\eta = (S_d + S_g)/S_{d0}$ eingeführt, der nur dann von eins verschieden und spannungsabhängig ist, wenn longitudinale Effekte längs des Leitungskanals von Bedeutung sind. Die Ergebnisse erleichtern sowohl die Kennlinienanalyse als auch die richtige Dimensionierung von Dünnschicht-Feldeffekttransistoren.

Hartwin Obernik

Golddiffusion in Silizium II

Verhalten von Gold und Dotierstoffen in Isolator-Halbleiter-Heteroübergängen.

Wegen der großen technischen Bedeutung von Isolierschichten auf Halbleiteroberflächen für die Entwicklung und Produktion von Bauelementen und wegen des Bestrebens, die Arbeitsgeschwindigkeit dieser Bauelemente durch Rekombinationszentren-Diffusion zu erhöhen, wird das Problem mittels einer Übersichtsdarstellung näher untersucht. Dabei wird außer dem Diffusionsvermögen von einigen für die Halbleitertechnologie wichtigen Fremdstoffarten besonders das Verhalten von Gold in SiO₂-Schichten untersucht. Bei der Untersuchung des Grenzschichtbereiches SiO₂-Si wird auf die Diffusionsvorgänge bei der thermischen Oxydation von Silizium, die Beeinflussung der Perfektion der Si-Oberfläche durch die Oxydation, die Anreicherung und Präzipitation von Gold am Heteroübergang des SiO₂-Si-Systems und auf die Beeinflussung der Oberflächenladungsdichte durch die Golddiffusion eingegangen.

Karl Ernst Ehwald und Hans Trompter

Direkte Mikrowellenerzeugung mit Halbleiterbauelementen

Nach einem kurzen Überblick über die wichtigsten gebräuchlichen Mikrowellengeneratoren auf Röhren- und Halbleiterbasis wird die Wirkungsweise von GaAs-Volumeneffektoszillatoren und Lawinenlaufzeitoszillatoren eingehender behandelt. Einige spezielle Probleme, die bei der Entwicklung von Lawinenlaufzeitoszillatoren auftreten, werden diskutiert.

Dieter Geisler

Halbleiterinjektionslaser

Die Absicht des Aufsatzes ist, in angemessener Breite die theoretisch-physikalischen Grundlagen, den experimentellen Aufbau und die sich daraus ableitenden Optimierungsbedingungen für die wichtigsten Ausgangsdaten der Halbleiter-Injektionslaser zu beschreiben.

Dabei werden ausgehend vom Lasher-Stern-Modell für parabolische Bänder und anschließend - unter Einbeziehung von Zustandsdichteschwänzen - der Mechanismus der Strahlungsrekombination beschrieben und die Laserbedingungen abgeleitet.

Am Beispiel einer GaAs-Laserdiode vom Fabry-Perot-Typ werden Betrachtungen über den optischen Gewinn und die auftretenden Verlustfaktoren aufgestellt, denen sich Ableitungen über Schwellstromdichte, Quantenergiebigkeit und Frequenzspektrum in Abhängigkeit von der Lasergeometrie und den Dotierungsverhältnissen am pn-Übergang anschließen.

Reinhold Günther Köhler

Das statische Verhalten von Thyristoren

Die Beschreibung des statischen Verhaltens von Thyristoren läßt sich durch ein Zwei-Transistor-Modell nach dem Superpositionsverfahren vornehmen.

Dabei sind einige Voraussetzungen den realen Gegebenheiten anzupassen.

Die wesentlichste Voraussetzung ist die Abhängigkeit der Stromverstärkungsfaktoren von Strom und Spannung.

Die Sperrkennlinien der Thyristoren lassen sich damit quantitativ vollständig erfassen.

Die Durchlaßcharakteristik ist mit diesem Modell nicht mehr vollständig zu beschreiben.

In diesem Bereich der Kennlinie wird das Modell des pin- bzw. psn-Gleichrichters verwandt.

Damit ist auch der Durchlaßbereich des Thyristors quantitativ berechenbar.

Einen Überblick über das gesamte Kennlinienfeld des Thyristors und der Einfluß der verschiedenen Effekte auf die Kennlinie läßt sich am einfachsten durch eine graphische Methode erhalten.

Band 3

Erschienen: 1971

VORWORT

Der dritte Band der Reihe „Probleme der Festkörperelektronik“ vermittelt dem Leser einen Überblick über aktuelle Fragen der Forschung und Entwicklung.

Die Komplexität der behandelten Probleme und ihre Bedeutung für die Praxis werden dabei besonders deutlich und die veröffentlichten Arbeiten geben eine Zusammenfassung des auf den einzelnen Gebieten bisher erreichten Wissensstandes.

Die zustimmende Aufnahme, die die bisher erschienenen Bände gefunden haben, berechtigen den Herausgeber zu der Hoffnung, auch diesmal wieder Beiträge zu allgemein interessierenden Problemen vereinigt zu haben.

Der Verlag Technik und seine Lektorin, Frau Dipl.-Ing. Rumpf, haben wie bisher mit Interesse und Sorgfalt das Entstehen dieses Bandes unterstützt, wofür Ihnen an dieser Stelle gedankt sei.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Reinhold Paul, Helmut Reimer: Physikalisch-elektronische Eigenschaften von Halbleiteroberflächen und Grenzschichten und ihre Bestimmung	9
Heinz Klose: Die Sperrschichtkapazität von pn-Übergängen mit tiefen Zentren	91
Manfred Schulz: Über das Wachstum von Halbleiterepitaxieschichten	119
Hartwin Obernik, Hans-Joachim Munte, Alf Treske: Metallkontakte an Halbleitern	147
Horst Schmidt, Jürgen Dubnack: Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik I	179

Reinhold Paul / Helmut Reimer

Physikalisch-elektronische Eigenschaften von Halbleiteroberflächen und Grenzschichten und ihre Bestimmung

Halbleiteroberflächen und Isolator-Halbleiter-Phasengrenzsysteme spielen für die elektronischen Eigenschaften vieler Halbleiterbauelemente eine bedeutende Rolle.

Die Arbeit behandelt jene Phänomene, die in solchen Anordnungen ablaufen, einschließlich der Messung der wichtigsten Kennwerte zur Beurteilung ihrer Eigenschaften.

An der Halbleiteroberfläche bildet sich im allgemeinen eine Raumladungszone heraus, in deren Gefolge eine Raumladekapazität auftritt. Zusätzlich werden die Potentialverhältnisse an der Halbleiteroberfläche durch Oberflächenzustände sowie die Metall-Halbleiter-austrittsarbeit bei isolatorbedeckten Oberflächen beeinflußt.

Im Nichtgleichgewichtsfall bilden Oberflächenleitwert, Oberflächenrekombination und die Dynamik der Oberflächenzustände zusätzliche Vorgänge, von denen sich ein Teil mittels des

Feldeffekts definiert steuern läßt. Demgemäß kommt der Feldeffektauswertung einschließlich der Impedanz der MIS-Strukturen eine besondere Bedeutung zu.

Für die Beurteilung der statischen und dynamischen Eigenschaften der Raumladungszone stehen eine Reihe von Untersuchungsmethoden zur Verfügung.

Heinz Klose

Die Sperrschichtkapazität von pn-Übergängen mit tiefen Zentren

Zur Bestimmung der Basisdotierung von pn-Übergängen werden häufig Kapazitäts-Spannungs-Untersuchungen herangezogen. Da viele Halbleiterbauelemente nicht nur flache, sondern auch tiefe Zentren enthalten, ist eine Auswertung von C_r , U_r Daten mit herkömmlichen Modellen nicht mehr oder nur mit großem Fehler möglich. Unter Verwendung von theoretischen Ausdrücken, die sowohl flache als auch tiefe Störstellen bei der Kapazitätsberechnung berücksichtigen, ist auch eine Bestimmung der elektrischen Eigenschaften tiefer Zentren in pn-Übergängen möglich. Aus diesen Gründen kommt der Untersuchung der Sperrschichtkapazität von pn-Übergängen mit tiefen Niveaus eine immer größere Bedeutung zu.

In dieser Arbeit wird auf die Frequenz-, Sperrspannungs- und Temperaturabhängigkeit der Sperrschichtkapazität mit tiefen Zentren eingegangen sowie der Lichteinfluß behandelt. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen Silizium-pn-Übergänge. Aber auch auf pn-Übergänge aus GaAs und GaP wird kurz eingegangen.

Manfred Schulz

Über das Wachstum von Halbleiterepitaxieschichten

Nach einigen allgemeinen Betrachtungen zum Begriff „Epitaxie“ und zum Schichtwachstum wird versucht, die Grundgedanken zu den verschiedenen Theorien der heterogenen Keimbildung zusammenfassend darzustellen.

Die stichpunktartige Darlegung der Epitaxieverfahren führt dann zur eigentlichen Halbleiterepitaxie. Neben der Charakterisierung der Situation bei der Silizium- und Germaniumepitaxie, erweitert um eine theoretische Abschätzung, werden am Beispiel der Galliumarsenidepitaxie die wichtigsten Züchtungsmethoden erläutert und diskutiert.

Auf die in dieser Arbeit nicht erfaßten Randprobleme und Entwicklungstendenzen wird aufmerksam gemacht.

Hartwin Obernik / Hans-Joachim Munte / Alf Treske

Metallkontakte an Halbleitern

Metallkontakte auf Halbleitern zeigen polungsabhängiges (Schottky-Kontakt) oder polungsunabhängiges (ohmscher Kontakt) Verhalten. Gleichrichtung tritt auf, wenn die Barrierenhöhe Φ_B bzw. der Bandabstand des Halbleiters genügend groß ist und die Bildkraftkorrektur $\Delta\Phi$ sowie die Dichte von Oberflächenzuständen N_{SS} in engen Grenzen bleiben. Für Au-Kontakte kann aus der $\Phi_B(E_g)$ -Abhängigkeit für einige Halbleiter die Gültigkeit des Spence-Postulats $\Phi_{Bn} + \Phi_{Bp} = E_g$ bestätigt werden. Metalleigenschaften, wie Austrittsarbeit Φ_M , Elektronegativität χ und Ordnungszahl, bestimmen nicht eindeutig die Barrierenhöhe. Es wird ein Modell vorgeschlagen, das Φ_B in einen direkten Zusammenhang mit spezifischen Elektronenstruktureigenschaften stellt. Für Metalle mit unvollständig besetzten N-, O- bzw. P-Schalen hängt die Barrierenhöhe bei n-Si von der Anzahl der Elektronen auf den äußeren d-, s- und p-Bahnfunktionen ab.

Anschließend werden Stromtransportmechanismen behandelt, die durch thermische Emission, Diffusion, thermische Feldemission, Feldemission und thermische Diffusionstheorie (einschließlich der Elektronen-Phononen-Wechselwirkung) beschrieben werden können.

Durch die Übertragung dieser Mechanismen von Schottky-Kontakten auf ohmsche Kontakte gelingt eine explizite Darstellung des Kontaktwiderstandes R_K .

Experimentelle Untersuchungen von Au- bzw. AuSb-Kontakten an p- und n-Si zeigen einen deutlichen Einfluß von Sb-Adatomen im Grenzschichtbereich. Abweichungen von der zu erwartenden thermischen Feldemission werden durch Traps, erhöhte Bildkraftkorrektur und Oberflächenzustände erklärt.

Horst Schmidt /Jürgen Dubnack

Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik I.

Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Festkörperforschung und Halbleitertechnik gewinnt nicht nur für die reine Analytik der Grundmaterialien und die Verfahrensentwicklung immer mehr an Bedeutung, auch ihr Einsatz zur Untersuchung und Optimierung fertigungsgerechter Verfahren hat beträchtlich an Umfang zugenommen. Davon ausgehend, werden die Leistungsfähigkeit dieser Methoden und ihre Vorteile und Grenzen diskutiert.

Anhand von Beispielen aus der Literatur und eigenen Untersuchungen werden die Technik ihrer Anwendung und die zu erzielenden Ergebnisse für die wichtigsten Verfahrensschritte in der Halbleitertechnik erläutert.

Im ersten Teil der Arbeit werden die Quellen und Konzentrationen von Verunreinigungen bei der Herstellung der Grund- und Hilfsmaterialien und die Verteilung von Fremdelementen im Halbleitermaterial nach der Einkristallherstellung und der Diffusion behandelt.

Band 4

Erschienen: 1972

Vorwort

Entsprechend dem Charakter dieser Buchreihe haben sich Redaktion und Herausgeber auch in diesem Band wieder bemüht, Beiträge zu veröffentlichen, die einen Einblick in aktuelle Probleme der Halbleiterforschung und -technologie geben.

Neben Originalbeiträgen wurde auch die Übersetzung einer sowjetischen Arbeit aufgenommen, deren technologisches Thema zweifellos das besondere Interesse der Leser finden wird. Durch die Veröffentlichung ausgewählter Übersetzungen soll der deutschsprachige Leser auch künftig mit interessanten aber verhältnismäßig schwer zugänglichen Arbeiten ausländischer Autoren bekannt gemacht werden.

Einem vielfach geäußerten Wunsch entsprechend werden von diesem Band an die Anschriften der Autoren bekannt gegeben, was sicherlich zur Förderung des Erfahrungsaustausches beitragen wird.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

Inhaltsverzeichnis

Bernd Brauer, Dietrich Demus, Heinz Klose: Flüssige Kristalle in der Optoelektronik	11
Albert F. Rudolph: Experimentelle Methoden zur Messung von Effekten heißer Ladungsträger mit Mikrowellen	81
Jochen Friedel: Verfahren zur Homogenitätsmessung für GaAs	133
I. V. Baidalinov: Moderne Verfahren zur Montage von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltkreisen	169

Bernd Brauer, Dietrich Demus, Heinz Klose

Flüssige Kristalle in der Optoelektronik

1. Einführung	12
2. Kristallin-flüssiger Zustand	13
2.1. Einteilung der flüssigen Kristalle	13
2.2. Strukturen und Texturen der flüssigen Kristalle	13
2.3. Molekülbau kristallin-flüssiger Stoffe	19
3. Physikalische Eigenschaften flüssiger Kristalle	22
3.1. Kalorimetrische und dilatometrische Untersuchungen	22
3.2. Rheologische Eigenschaften	23
3.3. Brechungsindex, elektrische und magnetische Suszeptibilität	26
3.4. Elektrische Leitfähigkeit	32
3.5. Dynamische Streuung	34
3.6. Elektrooptischer Speichereffekt	39
3.7. Guest-Host-Effekt	40
3.8. Feldeffekt in verdrillten nematischen Schichten	41
3.9. Optische Eigenschaften cholesterinischer flüssiger Kristalle	42
3.10. Feldeffekte in cholesterinischen flüssigen Kristallen	47
3.11. Nichtlineare optische Eigenschaften	52
4. Anwendungsmöglichkeiten flüssiger Kristalle in der Optoelektronik	53

4.1.	Anwendungen nematischer flüssiger Kristalle	53
4.1.1.	Flüssigkristalldisplays	53
4.1.2.	Flüssigkristallflachbildschirm	55
4.1.3.	Dateneingabematrix	57
4.2.	Anwendungen cholesterinischer flüssiger Kristalle	57
4.2.1.	Temperatur- und Strahlungsmessung	58
4.2.2.	Optische Bauelemente	59
4.2.3.	Feldgesteuerte Bauelemente	59
5.	Sonstige Anwendungen flüssiger Kristalle	60
6.	Abschließender Überblick über Anwendungen flüssiger Kristalle in der Optoelektronik	61
7.	Literatur	66

Mit dieser Arbeit soll versucht werden, die Problematik und speziell die anwendungstechnischen Gesichtspunkte der flüssigen Kristalle einem breiteren Kreis näher zu bringen.

Nach einer Einführung in die physikalischen und chemischen Eigenschaften der flüssigen Kristalle werden die elektrooptischen Effekte der nematischen und cholesterinischen Phase beschrieben. Es werden die hauptsächlichsten Anwendungen in der Optoelektronik behandelt und ein Ausblick auf mögliche Entwicklungstendenzen gegeben.

Albert F. Rudolph

Experimentelle Methoden zur Messung von Effekten heißer Ladungsträger mit Mikrowellen

Es werden Anregungs- und Meßtechniken heißer Ladungsträger mit Mikrowellen beschrieben. Messungen der Strom-Spannungs-Charakteristik, der Ladungsträgerrelaxationszeiten, der Oberflächen- und Rekombinationseigenschaften, der Thermo-EMK heißer Ladungsträger, der Leitfähigkeitsanisotropie, des Hall-Effekts und des Rauschens werden diskutiert.

Auf mögliche Bauelementekonzeptionen wird hingewiesen.

Jochen Friedel

Verfahren zur Homogenitätsmessung für Gas

Es wurde versucht, die für GaAs in Frage kommenden elektrophysikalischen und optischen Meßverfahren für Homogenitätsuntersuchungen am einkristallinen GaAs zu sichten und die am aussichtsreichsten erscheinenden Verfahren zu erproben.

Die den Anforderungen am besten entsprechenden Homogenitätsmeßverfahren sind wegen ihres hohen Auflösungsvermögens sowie ihrer möglichen Automatisierbarkeit die elektrischen Sondenverfahren. Es wurde das klassische Potentialsondenverfahren, ein Impulssondenverfahren, das Ausbreitungswiderstands- und das Durchbruchverfahren für GaAs erprobt. Die Ergebnisse zeigen, daß wegen des hohen Übergangswiderstands zwischen Metallspitze und Kristalloberfläche nur das Impulssonden- und das Durchbruchverfahren für GaAs geeignet sind, wobei nur das letztere auch weitestgehend automatisierbar ist (kontinuierliche Abtastung und Registrierung). Beide Verfahren sind ausführlich beschrieben. Das Durchbruchverfahren gestattet die kontinuierliche Messung und Registrierung im Bereich $10^{14} \text{ cm}^{-3} = n = 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bei Abweichungen vom Absolutwert um weniger als 10% mit einer Auflösung (bei günstigsten Versuchsparametern) von etwa $10 \mu\text{m}$. Die Zerstörungstiefe der Oberfläche beträgt bei 10^{-3} Ocm etwa $1 \mu\text{m}$. Die Einsatzfähigkeit dieses Verfahrens wird an mehreren Beispielen erläutert.

I. V. Baidalinov

Moderne Verfahren zur Montage von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltkreisen

Als Ergebnis kontinuierlicher und beharrlicher Untersuchungen auf dem Gebiet der Montage von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltkreisen wurde das Verfahren der Flip-chip-Technik entwickelt. In dieser Übersicht werden die praktische Ausführung von Verbindungen unter Verwendung von Kontakthügeln oder -kugeln auf dem Chip wie auch auf der Trägerplatte, die technischen Forderungen an die Kontakthügel auf dem Chip oder auf der Trägerplatte und die Möglichkeit der Beseitigung von Schäden bei solchen Verbindungen behandelt.

Ferner werden die Besonderheiten der Technologie der Beamlead-Kontakte und Fragen der Zuverlässigkeit untersucht.

In der letzten Zeit erschien eine größere Anzahl theoretischer und experimenteller Arbeiten zur Montage nach dem Flip-Chip-Verfahren. Der erste Versuch ihrer Systematisierung kann für die auf dem Gebiet der Montage von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltkreisen tätigen Ingenieure und Techniker von Interesse sein.

Band 5

Erschienen: 1973

VORWORT

Seit dem Erscheinen des ersten Bandes der „Probleme der Festkörperelektronik“ hat diese Reihe in der Vielzahl der Publikationen des Fachgebietes einen festen Platz eingenommen.

Wie im Vorwort zum ersten Band angekündigt, sollen in dieser Reihe Arbeiten erscheinen, die sowohl für die theoretische als auch für die praktische Lösung der anstehenden Probleme Bedeutung haben.

Die Redaktion und der Herausgeber haben sich bei der Auswahl der Beiträge dieser Zielstellung immer verpflichtet gefühlt und damit zur Umsetzung technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis beigetragen.

Berücksichtigt man den Umfang des Stoffes und die Fülle der Probleme, so war es von vornherein klar, daß die Herausgabe einer solchen Reihe nur eine Gemeinschaftsarbeit zwischen den Betrieben und den wissenschaftlichen Einrichtungen sein kann. Diese Zusammenarbeit, die vom Herausgeber von Anfang an angestrebt wurde, hat, nicht zuletzt dank der intensiven Tätigkeit der Redaktionsmitglieder, ihre Früchte getragen.

Der Herausgeber möchte daher das Erscheinen des fünften Bandes zum Anlaß nehmen, den Mitgliedern der Redaktionskommission für ihre jederzeit bereitwillige Arbeit ebenso zu danken wie dem VEB Verlag Technik, der diese Reihe stets mit Sorgfalt betreut hat.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Hans-Joachim Herbst, Friedrich Huth: Störstellen im GaAs	7
Horst Schmidt, Jürgen Dubnack: Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik II	115
Kurt Baumann, Lothar Elstner, Wolfgang Kozerke: Zum statischen und dynamischen Verhalten von Triacs	163
Jochen Albrecht: Zu einigen Problemen der effektiven Gestaltung des technologischen Prozesses zur Herstellung von Bauelementen der Halbleitertechnik/ Mikroelektronik	201

Hans-Joachim Herbst; Friedrich Huth **Störstellen im GaAs**

in zusammenfassender Form wird ein Überblick über die in einkristallinem GaAs bekannten Störstellen gegeben. Ausgehend von einer Übersicht über die physikalischen Grundlagen der Störstellen im Halbleiter werden atomare Verunreinigungen (energetisch flach und tief liegende Störstellen), Gitterdefekte und Störstellenkomplexe behandelt. Die Zusammenstellung erfasst die energetische Lage der lokalisierten Zustände der Störstellen in der Bandlücke und den Einbau im Kristallgitter. Über Einfangquerschnitte für Elektronen und Löcher können in einzelnen Fällen Werte angegeben werden. Das Diffusionsverhalten der Störstellen wird nicht erfaßt.

Horst Schmidt; Jürgen Dubnack

Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik II

Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Festkörperforschung und in der Halbleitertechnik für die Analytik der Grund- und Hilfsmaterialien und für die Untersuchung und Optimierung fertigungsgerechter Verfahren hat immer mehr an Bedeutung gewonnen. Anhand von Beispielen aus der Literatur und aus eigenen Untersuchungen werden die

Technik ihrer Anwendung und die erzielbaren Ergebnisse, ihre Vorteile und Grenzen diskutiert.

Der erste Teil der Arbeit hatte die Bestimmung des Gehalts und der Verteilung von Fremdatomen in den Grund- und Hilfsmaterialien und die Untersuchung der Änderung von Gehalt und Verteilung bei der Kristallherstellung und der Diffusion zum Inhalt.

Im zweiten Teil werden die Erfassung von Verunreinigungsquellen während der Verarbeitung des Halbleitergrundmaterials von der Einkristallherstellung bis zum fertigen Bauelement und die Untersuchung der Wirksamkeit von Verfahren zur Beseitigung der unmittelbar auf- bzw. eingebrachten Verunreinigungen behandelt.

Gesondert im dritten Teil der Arbeit werden die Untersuchungen zur Adsorption von Verunreinigungen aus Ätz- und Spülbädern sowie zur Wirksamkeit der Reinigungsverfahren, die zur Beseitigung solcher Verunreinigungen von der Halbleiteroberfläche dienen, behandelt.

Kurt Baumann, Lothar Elstner, Wolfgang Kozerke

Zum statischen und dynamischen Verhalten von Triacs

Der Triac verkörpert die antiparallele Integration von zwei Thyristoren.

Im Gegensatz zu vielen anderen Bauelementen mit pn-Übergängen werden seine Eigenschaften nicht nur von den Transportvorgängen, die senkrecht zu den Übergängen verlaufen, sondern auch wesentlich vom Stromfluß in diesen Ebenen bestimmt. Aus diesem Grunde sind die Schaltfunktionen des Triacs bisher vorwiegend qualitativ erklärt worden.

In dieser Arbeit wird der Versuch unternommen, die Zusammenhänge zwischen elektrischen Parametern und Konstruktionsgrößen sowohl im stationären als auch im dynamischen Betrieb quantitativ zu erfassen.

Jochen Albrecht

Zu einigen Problemen der effektiven Gestaltung des technologischen Prozesses zur Herstellung von Bauelementen der Halbleitertechnik/Mikroelektronik

Zur Abschätzung der Ausbeute- und Kostenveränderungen von Teilprozessen auf die Gesamtkosten des Bauelements dient ein einfaches Modell.

Die Untersuchung des Herstellungsaufwandes von technologischen Ausrüstungen liefert ein Kriterium für die Zweckmäßigkeit des Aufbaus von Standardausrüstungen.

Unter den gegebenen Bedingungen ist der Aufbau der technologischen Ausrüstungen nach einem Baukastensystem zweckmäßig.

Die Ermittlung der Zuverlässigkeit von Bauelementen ist zeit- und kostenaufwendig. Für die schnelle Überleitung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in die Serienproduktion

und die schnelle Wirksamkeit von Rationalisierungsmaßnahmen ist die Anwendung forcierter Belastungen notwendig.

Die Problematik von Zuverlässigkeitsaussagen, die mit Hilfe forcierter Belastungen gewonnen sind, wird diskutiert.

Die Schaffung einer hohen Staubarmut in unmittelbarer Umgebung der Arbeitsgegenstände kann mit unterschiedlichen Aufwendungen und unterschiedlichem Effekt erfolgen.

Es werden Eigenschaften von

- turbulenzbelüfteten reinen Räumen,
- reinen Räumen mit horizontaler und vertikaler turbulenzarmer Verdrängungsströmung,
- Strömungsboxen,
- Reinraumfeldern

gegenübergestellt.

Band 6

Erschienen: 1974

VORWORT

Der vorliegende Band 6 der Reihe „Probleme der Festkörperelektronik“ enthält wiederum Arbeiten zu aktuellen Problemen der Entwicklung von Halbleiterbauelementen. Wie bisher wird in den Beiträgen der erreichte Erkenntnisstand zusammengefaßt. Somit bieten die hier publizierten Aufsätze eine Grundlage für weiterführende Arbeiten. Die in den vorangegangenen Bänden veröffentlichten Übersichtsbeiträge haben die Zustimmung der Leser gefunden und der Herausgeber ist sicher, auch mit diesem Band auf das Interesse der Leser zu treffen.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Gerhard Götz, Josef Mittenbacher, Stephan Schwabe: Physikalische Eigenschaften ionenimplantierter Halbleiterschichten	9
Jochen Friedel: Zur Theorie der Leitfähigkeit entarteter Halbleiter - Anwendung der Ergebnisse auf die Störstellenanalyse des n-GaAs (Analyse der Beweglichkeiten)	73
Gunter Kaden: Beeinflussung des Verlaufs der Strom-Spannungs-Kennlinie planarer pn-Übergänge durch Generation und Rekombination von Ladungsträgern in der Oberflächenraumladungszone	168
Norbert Schiller: Einflußfaktoren auf die Zuverlässigkeit bipolarer Silizium-Halbleiterbauelemente kleiner Leistung	258

Gerhard Götz, Josef Mittenbacher, Stephan Schwabe

Physikalische Eigenschaften ionenimplantierter Halbleiterschichten

Ionenimplantation ist das Verfahren zur Veränderung von Eigenschaften fester Körper in oberflächennahen Schichten mit Hilfe energiereicher geladener Teilchen. Als eine qualitativ neue Möglichkeit für die Dotierung von Halbleitern bietet die Ionenimplantation eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Hochtemperaturdiffusion, obwohl die auftretenden Elementarprozesse komplexerer Natur sind. In der vorliegenden Arbeit werden die Wechselwirkung der eingeschossenen Ionen mit den Gitteratomen - besonders der entstehende Strahlenschaden, der Einlagerungs- und der Ausheilprozeß - sowie die makroskopisch in Erscheinung tretenden elektrischen Parameter behandelt. Außerdem werden die Anwendungsmöglichkeiten der Ionenimplantation zur Fertigung von MOS-Strukturen, hochohmigen Widerständen in integrierten Schaltkreisen und speziellen Dioden beschrieben.

Jochen Friedel

Zur Theorie der Leitfähigkeit entarteter Halbleiter
Anwendung der Ergebnisse auf die Störstellenanalyse des n-GaAs
(Analyse der Beweglichkeiten)

Durch Lösung der Boltzmann-Gleichung werden unter Anwendung der Fermischen Verteilungsfunktion für das Elektronengas die wichtigsten Leitfähigkeitsbeziehungen für den Fall der Entartung des Elektronengases abgeleitet.

Eine einfache Grenzbetrachtung liefert hieraus die bekannten klassischen Leitfähigkeitsbeziehungen für nichtentartete Halbleiter (Boltzmannsche Verteilungsfunktion).

Zur besseren Veranschaulichung werden die wichtigsten Beziehungen für n-GaAs grafisch dargestellt. Es werden jeweils sowohl die allgemeine Funktion als auch die Grenzfälle für Nichtentartung und Entartung berechnet, so daß die Anwendbarkeit der Gleichungen für Entartung oder Nichtentartung hier auf einfache Weise überprüft werden kann.

Gunter Kaden

Beeinflussung des Verlaufs der Strom-Spannungs-Kennlinie planarer pn-Übergänge durch Generation und Rekombination von Ladungsträgern in der Oberflächenraumladungszone

In dieser Arbeit wird anhand von Beispielen aus der Literatur und eigenen Meßergebnissen auf Oberflächenströme planarer Dioden und Transistoren sowie auf die Verringerung der Gleichstromverstärkung von Transistoren bei kleinen Strömen eingegangen.

Grundlage bilden dabei die Theorie der Oberflächengeneration und -rekombination sowie die MOS-Theorie.

Dann wird erläutert, wie die nach einer Durchbruchbelastung des Emitter-Basis-Übergangs beobachtete Degradation der Gleichstromverstärkung planarer Transistoren mit einem Anwachsen der Oberflächenzustandsdichte am pn-Übergang erklärt werden kann.

Des Weiteren enthält die Arbeit folgende Untersuchungsergebnisse:

Die aus $C(V)$ - und aus Sperrstrommessungen an Gatedioden bestimmten Werte der Oberflächenzustandsdichte in der Bandmitte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung, während bei der Auswertung von Flußstrommessungen zur Bestimmung der Oberflächenzustandsdichte der Spannungsabfall in der Oberflächenraumladungszone berücksichtigt werden muß.

Die Oberflächenzentrendichte ist im hochdotierten p⁺-Gebiet von p⁺-Gatedioden etwa um eine Größenordnung höher gewesen als im n-Gebiet.

Nach der Theorie von FITZGERALD und GROVE werden Kurven zur Bestimmung der Oberflächengenerations- und Oberflächenrekombinationsrate berechnet.

Schließlich werden Ausdrücke und entsprechende Kurven für die Abhängigkeit des Besetzungsgrads der gleichförmig im verbotenen Band verteilten Oberflächenzustände vom Oberflächenpotential und der Spannung am metallurgischen pn-Übergang ermittelt.

Norbert Schiller

Einflußfaktoren auf die Zuverlässigkeit bipolarer Silizium-Halbleiterbauelemente kleiner Leistung

Bei Zuverlässigkeitsuntersuchungen gewinnt die Frage nach den Ursachen der Unzuverlässigkeit immer mehr an Bedeutung. Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über eine Reihe möglicher struktureller Schwachstellen in bipolaren Halbleiterbauelementen kleiner Leistung, die bei bestimmten Belastungen Ansatzpunkt für einen Ausfallmechanismus sind.

Im allgemeinen ist es günstiger, durch entsprechende konstruktive bzw. technologische Maßnahmen die Entstehung dieser strukturellen Schwachstellen zu unterbinden, als durch aufwendige Selektionsprüfungen potentiell unzuverlässige Bauelemente eliminieren zu wollen.

Die Verbesserung der Zuverlässigkeit elektronischer Geräte bzw. Systeme erfordert eine kontinuierliche enge Gemeinschaftsarbeit von Bauelementeherstellern und der Geräteindustrie.

Band 7

Erschienen: 1975

VORWORT

In den bisher vorliegenden Bänden der Reihe „Probleme der Festkörperelektronik“ wurden überwiegend Beiträge veröffentlicht, die mehr oder weniger bekannten Problemen aus der Theorie und Praxis der Festkörperelektronik gewidmet waren.

Ohne die Zielstellung für diese Reihe aus den Augen zu verlieren, wurden in diesen siebenten Band auch zwei Arbeiten aufgenommen, die Probleme berühren, die sich im Versuchsstadium befinden und noch nicht den Weg in die technische Anwendung gefunden haben.

Der Leser wird dadurch mit Fragen bekannt gemacht, die international noch nicht umfassend gelöst sind.

Redaktion und Herausgeber wollen damit das Spektrum der bisher behandelten Themen in zweckmäßiger Weise erweitern.

Der Redaktionskommission, dem Herausgeber und dem Verlag, die sich auch künftig eine aktuelle Gestaltung der Bände angelegen sein lassen werden, sind Wünsche und Anregungen zur Weiterführung dieser Reihe und zur Themenauswahl und -behandlung jederzeit willkommen.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Andreas Röder, Carl-Ernst Richter: Die Elektronenstrahl- und Ionenstrahlmikroanalyse und ihre Anwendung in der Halbleiteranalytik	7
Adalbert Feltz: Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften glasartiger Halbleiter	82
Peter Süptitz, Harald Böttger: Nichtkristalline Halbleiter	131
Horst Schmidt, Jürgen Dubnack: Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik III.	221

Andreas Röder, Carl-Ernst Richter

Die Elektronenstrahl- und Ionenstrahlmikroanalyse und ihre Anwendung in der Halbleiteranalytik

Die Elektronenstrahlmikroanalyse und in zunehmendem Maß auch die Sekundärionenmikroanalyse stellen unumgängliche Hilfsmittel zur Untersuchung physikalischer Grundlagenprobleme und technologischer Verfahren in der Halbleiterphysik dar.

Es werden die wichtigsten Wechselwirkungsprozesse behandelt, die die Grundlagen für die beiden Verfahren bilden. Danach werden die modernen Gerätekonzeptionen vorgestellt, die Verfahrensweisen bei den Analysen beschrieben und die wichtigsten Probleme bei qualitativen und quantitativen Untersuchungen erläutert.

Daraus ergeben sich für beide Verfahren bestimmte Hauptanwendungsgebiete, die verglichen und voneinander abgegrenzt werden.

Eine große Anzahl von Anwendungsbeispielen aus dem Gebiet der Halbleiterphysik soll es dem Leser erleichtern, die mit den beiden Verfahren lösbaren, speziellen Probleme besser einzuschätzen und geeignete Varianten für die Lösung offener Probleme zu finden.

Adalbert Feltz

Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften glasartiger Halbleiter

Nach einer Zeit der relativ isolierten Entwicklung bis etwa 1966 und einer sich anschließenden Phase, die durch das Bekanntwerden neuer Effekte Aufsehen erregte, hat sich die Erforschung der glasartigen Halbleiter in den letzten Jahren in wachsendem Maß als ein Teilgebiet der Festkörperphysik und -chemie herausgebildet. Als Festkörper im Nichtgleichgewichtszustand mit einer für derartige Systeme charakteristischen Variabilität im strukturellen Aufbau erweisen sich die glasartigen Halbleiter als Stoffe, deren Eigenschaften in weiten Grenzen einstellbar und durch äußere Einwirkungen beeinflussbar sind.

Zunächst wird auf die kinetischen und thermodynamischen Bedingungen sowie auf die strukturellen Voraussetzungen der Glasbildung eingegangen. Modellvorstellungen zur Elektronenstruktur der Gläser werden beschrieben und die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen für Gläser mit vergleichbarer Struktur bei variabler Zusammensetzung, unterschiedlicher Darstellung bzw. thermischer Vergangenheit sowie unter Berücksichtigung der Einwirkung elektrischer Felder und elektromagnetischer Strahlung an Beispielen erläutert.

Peter Süptitz; Harald Böttger

Nichtkristalline Halbleiter

In den letzten Jahren ist eine starke wissenschaftliche Aktivität auf dem Gebiet der nichtkristallinen (amorphen) Halbleiter zu beobachten. Über die bisher erzielten experimentellen und theoretischen Ergebnisse wird ein Überblick gegeben.

Im ersten Teil werden die experimentell gefundenen Eigenschaften amorpher Halbleiter, und zwar speziell derjenigen mit tetraedrischer Koordination und der Chalkogenidgläser, behandelt. Auf die Herstellung, die Struktur und die optischen und elektrischen Eigenschaften wird besonders eingegangen. Darüber hinaus werden die Hochfeldeffekte, Schaltmechanismen und Anwendungsmöglichkeiten bei der Informationsspeicherung aufgezeigt und diskutiert.

Im zweiten Teil wird die Theorie der Elektronenzustände und des Ladungstransports in nichtkristallinen Halbleitern vorgestellt. Die wichtigsten Charakteristiken dieser Theorie sind folgende:

Das Fehlen einer Fernordnung in der Struktur führt zu lokalisierten Zuständen und zu Ausläufern in der Zustandsdichte. Lokalisierte Elektronen tragen zur Leitfähigkeit mittels Hüpfer-(Hopping-) Prozessen bei. Die sehr viel kleinere Beweglichkeit der Elektronen in den lokalisierten Zuständen im Vergleich zu der in den ausgedehnten Zuständen führt zur so genannten Beweglichkeitslücke. Die Nahordnung ist von Bedeutung für die Zustandsdichte.

Horst Schmidt; Jürgen Dubnack

Die Anwendung radioaktiver Methoden in der Halbleitertechnik III

Die wachsende Bedeutung, die die Anwendung radioaktiver Methoden in der Festkörperforschung und in der Halbleitertechnik für die Analytik der Grund- und Hilfsmaterialien und für die Untersuchung und Optimierung fertigungsgerechter Verfahren erhält, wird durch die Diskussion der allgemeinen Leistungsfähigkeit dieser Methode, ihrer Vorteile und Grenzen sowie anhand von Beispielen aus der Literatur und eigener Untersuchungen begründet.

Im Teil I der Arbeit sind die Vorteile und Grenzen dieser Methode in der Festkörperforschung und Halbleitertechnik allgemein diskutiert und die Anwendung dieser Methodik bei der Auffindung von Verunreinigungsquellen und der Konzentrationsbestimmung von Verunreinigungen bei der Herstellung von Grund- und Hilfsmaterialien sowie für die Bestimmung der örtlichen Verteilung von Fremdelementen in Halbleitermaterialien nach der Einkristallherstellung und der Diffusion anhand von Beispielen aus der Literatur und eigener Untersuchungen demonstriert worden.

Im Teil II wurden die Verunreinigungsquellen bei der Verarbeitung des Halbleitermaterials von der Einkristallherstellung bis zum fertigen Bauelement und die Wirksamkeit von Verfahren zur Beseitigung auf- bzw. eingebrachter Verunreinigungen behandelt.

Im Teil III wird die Anwendung der radioaktiven Methoden zur Untersuchung der Adsorption von Verunreinigungen aus Ätz- und Spülbädern sowie zur Untersuchung der Wirksamkeit von Spül- und Reinigungsprozessen für die Beseitigung solcher Verunreinigungen gesondert behandelt, da zu diesem Untersuchungskomplex eine sehr große Anzahl von Arbeiten vorliegt.

Zusätzlich werden in diesem Teil die Möglichkeiten der Anwendung der radioaktiven Methodik für spezielle technologische Problemstellungen in der Halbleitertechnik an Beispielen demonstriert und die in der Halbleitertechnik angewendeten radioaktiven Meßverfahren zur Dichtigkeitsprüfung und Schichtdickenmessung vorgestellt.

Band 8

Erschienen: 1976

VORWORT

Der vorliegende Band enthält neben Arbeiten über wichtige Einzelprobleme vor allem Übersichtsbeiträge, die den gegenwärtig erreichten internationalen Stand bei den jeweils behandelten Themenkomplexen demonstrieren.

Daß dabei an bereits in früheren Bänden veröffentlichte Arbeiten angeknüpft wird, ist nur natürlich und ermöglicht es, die Entwicklung auf diesen Gebieten zu verfolgen.

Die enge Verbindung zwischen theoretischen und technologischen Problemen, die für das Gebiet der Festkörperelektronik charakteristisch ist, kommt auch in den hier veröffentlichten Aufsätzen wieder zum Ausdruck.

VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)

INHALTSVERZEICHNIS

Hans-Waldemar Streitwolf: Die Bandstruktur kristalliner Halbleiter	9
Hans-Joachim Schnabel, Wolfgang Storch, Reiner Doß, Fritz Fleischer: SiO ₂ -Schichten für Galliumarsenid	49
Heinz Klose, Gert Beister, PeterHottewitzsch: Die Sperrschichtkapazität von pn- und Schottkyübergängen mit tiefen Zentren I.	79
Frieder Bigl, Günter Butzke, Klaus Rogge: Möglichkeiten und Besonderheiten der Ionenimplantation	122
Manfred Brauer, Gerwin Kantelberg, Klaus Kliefoth, Bernhard Petzel: Der Gunn-Effekt - Neuere Entwicklung und Stand der Anwendung	166
Siegbert Koepp, Heinz-Jürgen Fröhlich: Grundlagen und Anwendungen der Oberflächenwellen-Akustoelektronik	220

Hans-Waldemar Streitwolf

Die Bandstruktur kristalliner Halbleiter

Es wird zunächst eine Übersicht über die wichtigsten Methoden zur Berechnung der elektronischen Bandstruktur in kristallinen Halbleitern bei Kenntnis des Kristallpotentials gegeben. Dabei werden vor allem die OPW-Methode sowie verschiedene Pseudopotentialmethoden behandelt.

Ferner wird der Zusammenhang der kovalenten Bindung mit dem Auftreten der Bandlücke und der selbstkonsistenten Bestimmung des Kristallpotentials näher untersucht.

Abschließend wird kurz auf die Möglichkeiten einer experimentellen Bestimmung der Bandstruktur eingegangen.

Hans-Joachim Schnabel/Wolfgang Storch/Reiner Doß/Fritz Fleischer

SiO₂-Schichten für Galliumarsenid

Es werden planartechnische Methoden für die Herstellung von GaAs-Bauelementen erörtert, die sich im besonderen auf die Abscheidung von SiO₂-Schichten aus Monosilan und Sauerstoff gründen. Die Schichten werden als Diffusionsmaske bzw. als Diffusionshemmung gegen Zink, als Schablone für selektive Aufdampfkontakte und selektive Epitaxieprozesse und als Diffusionsquelle mit Zink als dotierendem Element beschrieben.

Die Verwendungsmöglichkeit der SiO₂-Schichten wird an einfachen Strukturen nachgewiesen.

Heinz Klose, Gert Beister, Peter Hottewitzsch

Die Sperrschichtkapazität von pn- und Schottkyübergängen mit tiefen Zentren I.

Mit zunehmender Verbesserung der theoretischen Modelle hat die Messung der Sperrschichtkapazität von pn- und Schottkyübergängen mit tiefen Zentren sowohl als Methode zur Untersuchung der Übergänge als auch der tiefen Zentren selbst ein weites Anwendungsgebiet gefunden.

Im Teil 1 der Arbeit werden neben dem Problem der Definition der Sperrschichtkapazität und ihrer Messung das grundlegende Modell von SAH und REDDI, der zeitliche Verlauf der Kapazität nach einer plötzlichen Änderung der Sperrspannung und der Einfluß der beweglichen Ladungsträger auf die Sperrschichtkapazität behandelt. Dabei werden besonders die Möglichkeiten der Auswertung der Kapazitätsmessungen hinsichtlich der Konzentration der flachen und tiefen Störstellen sowie deren Ortsabhängigkeit und Aktivierungsenergie dargestellt.

Frider Bigl, Günter Butzke, Klaus Rogge

Möglichkeiten und Besonderheiten der Ionenimplantation

In den letzten Jahren ist die Ionenimplantation hauptsächlich als Verfahren zur Dotierung von Silizium in immer stärkerem Maße zur industriellen Fertigung von Halbleiterbauelementen eingesetzt worden. Dadurch wurde eine Verringerung der Fertigungstoleranzen und eine spürbare Steigerung der Ausbeute an Bauelementen mit höchsten Qualitätsmerkmalen erzielt. Andererseits wurde des öfteren zum Teil berechtigt darauf hingewiesen, daß der relativ hohe technisch-personelle und damit auch finanzielle Aufwand für die Durchführung dieser Technologie einer breiten Anwendung entgegenstehe. Mit der Entwicklung moderner

Produktionsanlagen und der zielstrebigem Weiterentwicklung der entscheidenden Anlagenbaugruppen zur Verbesserung ihrer Leistungskennzahlen und vor allem ihrer Zuverlässigkeit sind letztlich günstige technische und ökonomische Voraussetzungen für eine allseitige industrielle Anwendung dieses Verfahrens geschaffen worden.

Die vorliegende Arbeit soll einen Einblick in die Funktionsweise von Implantationsanlagen und in den derzeitigen Entwicklungsstand auf diesem Gebiet vermitteln.

Manfred Brauer, Gerwin Kantelberg, Klaus Kliefoth, Bernhard Petzel

Der Gunn-Effekt - Neuere Entwicklung und Stand der Anwendung

Es wird ein Überblick über die neuere theoretische und experimentelle Entwicklung auf dem Gebiet des Gunn-Effekts und seiner Anwendung gegeben.

Hierbei werden die folgenden Probleme diskutiert:

- Berechnung und Messung von Driftgeschwindigkeits-Feldstärke-Charakteristiken,
 - Entstehung und Ausbreitung von Domänen, Elektronentransfer in Indiumphosphid,
 - Anwendung des Gunn-Effekts zur Erzeugung und Verstärkung von Mikrowellen sowie in der digitalen Elektronik.
-

Siegbert Koepp, Heinz-Jürgen Fröhlich

Grundlagen und Anwendungen der Oberflächenwellen-Akustoelektronik

Die Akustoelektronik beruht auf der Ausnutzung elastischer Oberflächenwellen, sie liefert wesentliche Beiträge zum Ausbau der Mikroelektronik.

Nach einer Übersicht über die Wellentypen und deren Ausbreitungsverhalten werden die Prinzipien und Möglichkeiten der Wandlung elektromagnetischer Wellen in elastische Oberflächenwellen, der Laufzeitverzögerung und der Kombination beider in den Oberflächenwellenfiltern beschrieben.

Die akustoelektrischen Grundphänomene in piezoelektrischen Halbleitern werden anhand der akustoelektrischen Verstärkung behandelt. Anschließend werden die begrenzenden elastischen und elektronischen Nichtlinearitäten diskutiert und deren Nutzung zu Funktionselementen beschrieben.

Abschließend werden das Materialproblem und eine Auswahl aktueller Probleme angeschnitten.

Band 9

Erschienen: 1977

Inhaltsverzeichnis

Joachim Chemnitz/Reinhold Paul/Helmut Reimer Ladungstransfer-Bauelemente I	5
A. F. Kravcenko Klassische Size-Effekte in Halbleitern	107
Horst Morgenstern Schwankungserscheinungen in isolatorbedeckten Halbleiteroberflächen	161
Hans-Friedrich Hadamovsky Siliziumforschung unter dem Aspekt der Bauelementeproduktion	203

Joachim Chemnitz/Reinhold Paul/Helmut Reimer

Ladungstransfer-Bauelemente I.

Das Prinzip der Ladungstransfer-Bauelemente ermöglicht die Anwendung neuer Methoden der Informationsverarbeitung und -wandlung. Technologisch der MOS-Technik zugeordnet, ist es integrationsfreundlich und läßt kostengünstige Varianten hochintegrierter Bauelemente erwarten.

Im vorliegenden Beitrag werden die physikalisch-elektronischen Grundlagen von Ladungstransfer-Bauelementen, ihre für die Anwendung wichtigsten Grundeigenschaften und die Möglichkeiten zur praktischen Realisierung von Ladungstransfer-Bauelementen dargestellt. Dabei werden sowohl die Varianten von ladungsgekoppelten Bauelementen (CCD) - Ladungstransport an der Halbleiter-Isolator-Phasengrenze (Oberflächen-CCD) bzw. im umdotierten Kanal (Volumen-CCD) - als auch Eimerkettenbauelemente (BBD) berücksichtigt. Besonderer Wert wird auf die Analyse des Ladungsübertragungsprozesses und den Einfluß der Bauelementekonstruktion auf die Übertragungsverluste gelegt.

Wichtige Leistungsgrenzen des Ladungstransferprinzips werden diskutiert:

- die obere Grenzfrequenz,

- die Übertragungsverluste bei mittleren Frequenzen,
- das Signal-Rausch-Verhältnis und die Verlustleistung.

Auf die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten von Ladungstransfer-Bauelementen wird hingewiesen.

A. F. Kravcenko

Klassische Size-Effekte in Halbleitern

In der vorliegenden Arbeit werden die Besonderheiten der kinetischen Erscheinungen in Halbleiterschichten betrachtet, die sich zeigen, wenn die Schichtdicke mit einem Parameter vergleichbar ist, der das Elektron als klassisches Teilchen charakterisiert. Dabei treten die so genannten klassischen Size-Effekte auf, die einen wesentlichen Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften dünnschichtiger und vor allem mehrschichtiger Strukturen und auf die Parameter von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen ausüben können. Im Vordergrund stehen die Size-Effekte in halbleitenden Schichten, die mit der freien Weglänge, der Abkühlänge und mit der Diffusionslänge der Elektronen-Loch-Paare verbunden sind.

Die experimentellen und theoretischen Literaturdaten und die Resultate des Autors werden analysiert und verallgemeinert. Besondere Aufmerksamkeit wird den ungelösten Fragen und den widersprüchlichen Resultaten gewidmet.

Horst Morgenstern

Schwankungserscheinungen in isolatorbedeckten Halbleiteroberflächen

Nach einer kurzen Darstellung des Potentials und der Ladungsträgerbeziehungen an der idealen Halbleiteroberfläche werden die realen isolatorbedeckten Oberflächen betrachtet. Die an der Zwischenschicht vorhandenen Zwischenschichtzustände und Oxidhaftstellen sind eine Folge des Übergangs vom Halbleitersubstrat zum Oxid. Dabei wird der Einfluß technologischer (z. B. Oxydation, Tempern) und kristallografischer (z. B. Orientierung) Parameter auf die energetischen Zustände untersucht, die mit Ladungsträgern in Wechselwirkung treten können. Auftretende Schwankungen im Ladungsträgeraustausch führen zu Rauschen. Für drei Anordnungen auf der Grundlage der MIS-Struktur (MIS-Diode, MIS-Transistor und ladungsgekoppeltes Bauelement) kann gezeigt werden, daß das auftretende Rauschen stets aus der Dichte der Zustände abgeleitet werden kann.

Hans-Friedrich Hadamovsky

Siliziumforschung unter dem Aspekt der Bauelementeproduktion

Der Artikel 1) beschreibt aus der Sicht der Bauelementeentwicklung den Stand und die Hauptentwicklungstendenzen der Erforschung des Siliziums.

Die bei der Herstellung und den Züchtungsverfahren erreichten Fortschritte (Qualität, größere Kristalldurchmesser) führen zu einer verbesserten Ökonomie.

Neuere Erkenntnisse über die Verunreinigungen werden zusammenfassend mitgeteilt.

Es erfolgt eine Diskussion über den Einfluß des Materials, insbesondere bezüglich von Mikrodefekten auf die Bauelementeigenschaften. Bei der Anwendung von versetzungsfreier, Kristallen tritt eine neue Problematik (Cluster-Bildung) auf.

Die Schwierigkeiten der Verarbeitung ep-freien Materials sowie Verfahren zur Erhaltung der Perfektion werden angedeutet.

1) Ergänzte Fassung des auf der Tagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR gehaltenen Plenarvortrags (Berlin, 24. März 1973)

Band 10

Erschienen: 1978

INHALTSVERZEICHNIS

Klaus Thiessen	
Optoelektronik. Umfang, Stand und Tendenzen ihrer Entwicklung	7
Joachim Auth, Dietmar Genzow, Klaus H. Herrmann	
Halbleiter mit schmaler verbotener Zone	20
Hans Trompter, Rainer Stephani	
CCD-Strukturen in der Optoelektronik	71
Dietrich Morawski, Karl-Ernst Ehwald, Horst Schmidt	
Bildaufnahmeröhren mit Si-Dioden-Target	110
Klaus Thiessen	
Die Vorteile des Systems $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ für die Fertigung rotleuchtender Lichtemitterdioden	132
Günter Heine, Heinz Klose	
Diagnostische Methoden bei der Fertigung von lichtemittierenden Dioden auf der Basis von $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$	151

Klaus Thiessen

Optoelektronik - Umfang, Stand und Tendenzen ihrer Entwicklung

Nach der Definition der Optoelektronik wird eine Übersicht über die Realisierung optoelektronischer Wandlerfunktionen durch moderne Bauelemente gegeben. Dabei werden der Stand und die Entwicklungstendenzen, aber auch die Grenzen kritisch analysiert. Die Analyse berücksichtigt in erster Linie Fragen der technologischen Beherrschbarkeit und die damit in unmittelbarem Zusammenhang stehenden ökonomischen Gesichtspunkte.

Joachim Auth, Dietmar Genzow, Klaus H. Herrmann

Halbleiter mit schmaler verbotener Zone

Die Eignung von Halbleitern mit schmaler verbotener Zone, wie $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ und $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ ($0 \leq x \leq 1$), für optoelektronische Anwendungen im λ -Bereich um $10\mu\text{m}$ wird erörtert. Die Bandstrukturbesonderheiten derartiger Materialien, die in ihnen wirksamen Streuprozesse der freien Ladungsträger und die Rekombinationsprozesse von Nichtgleichgewichtsträgern werden zusammenfassend dargestellt. Die den Anwendungen in schnellen IR-Detektoren und Injektionslasern zugrunde liegenden physikalischen Prozesse werden diskutiert, theoretisch mögliche und bereits realisierte Parameter solcher Bauelemente werden miteinander verglichen; außerdem werden Hinweise zur Technologie gegeben.

Hans Trompter, Rainer Stephani

CCD-Strukturen in der Optoelektronik

Ausgehend vom Funktionsprinzip der ladungsgekoppelten Bauelemente (CCD) werden die Bedingungen für ihren Einsatz in der Optoelektronik als optische Sensoren im sichtbaren und infraroten Frequenzbereich untersucht. Weiterhin werden die Konstruktionsgesichtspunkte für Zeilen- und Flächensensoren sowie ihre Einsatzgebiete behandelt. Abschließend wird auf den internationalen Stand und die Entwicklungsziele eingegangen.

Dietrich Morawski, Karl-Ernst Ehwald, Horst Schmidt

Bildaufnahmeröhren mit Si-Dioden-Target

Nach einer Erläuterung von Konstruktion und Wirkungsweise des Si-Dioden-Vidikons wird auf seine wesentlichen technischen Parameter und ihren Zusammenhang mit bestimmten Eigenschaften des Si-Targets eingegangen. Dabei werden besonders die anhand der verfügbaren Literatur erkennbaren Optimierungsprobleme bei der Herstellung des Si-Targets behandelt. Abschließend wird eine kurze Darstellung des Herstellungsprozesses und spezieller mit dem Einsatz des Si-Targets verbundener Probleme der Röhrenentwicklung gegeben.

Klaus Thiessen

Die Vorteile des Systems GaAs_{1-x}P_x für die Fertigung rotleuchtender Lichtemitterdioden

In den letzten Jahren wurden mehrere Varianten zur Erzielung einer rotleuchtenden Injektionslumineszenz vorgestellt. Einige dieser Varianten führten zur Entwicklung bzw. Produktion von Lichtemitterdioden (LED) und Displays.

In der vorliegenden Arbeit werden die Grenzen der Anwendbarkeit von LEDs diskutiert und dann die einzelnen Varianten der Realisierung rotleuchtender LEDs miteinander verglichen. Es zeigt sich, daß sich als Technologie die Gasphasenepitaxie (VPE) gegenüber der Flüssigphasenepitaxie (LPE) voll durchsetzen wird.

Unter den rotleuchtenden Varianten werden sich Strukturen auf der Basis von GaAs_{0,6}P_{0,4} (direkter Halbleiter) und GaAs_{0,35}P_{0,65} (indirekter Halbleiter mit isoelektronischen Störstellen) behaupten.

Günter Heine, Hein: Klose

Diagnostische Methoden bei der Fertigung von lichtemittierenden Dioden auf der Basis von GaAs_{1-x}P_x

Bei der Fertigung lichtemittierender Halbleiterbauelemente auf der Basis von GaAs-Substraten und GaAs_{1-x}P_x-Epitaxieschichten muß der Überwachung der Materialparameter, die im Verlauf der Entwicklung ermittelt wurden, große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Das ist insbesondere im Hinblick auf die arbeitsaufwendigen Produktionsschritte und das wertvolle Halbleitermaterial wichtig, um möglichst frühzeitig fehlerhafte Proben auszusondern.

In dieser Arbeit werden Diagnosemethoden behandelt, die eine Überwachung der wichtigsten Parameter der Epitaxieschichten ermöglichen und schnell, zuverlässig und möglichst störungsfrei arbeiten.

Zu solchen Parametern gehören die Ladungsträgerkonzentration N_d , die Epitaxieschichtdicke, die Komposition x , die Oberflächengüte, die Durchbiegung und die Lumineszenzeigenschaften. Ergebnisse der eigenen Untersuchungen werden mit Daten aus der Literatur verglichen.

Abschließend wird auf die Orientierungsbestimmung der Epitaxieschichten unter Ausnutzung des Versetzungsnetzwerkes im Fotolithografieprozeß eingegangen, die ein bedeutendes Problem der Materialökonomie darstellt.

Band 11

Erschienen: 1979

INHALTSVERZEICHNIS

Wolf-Joachim Fischer, Jürgen Teichmann Entwurf von bipolaren und unipolaren Schaltkreisen	7
Willi Franke Rechnergestützte Analyse nichtlinearer Schaltungen mit dem Programmiersystem STADYNET2	46
Hartmut Hertzner Analoge integrierte Schaltkreise	54
Dietrich Armgarth Die I ² L-Technik	84
Dieter Landgraf-Dietz Integrierte Schaltungen in Silicon-Gate-Technik - Technologie und Kennwerteinstellung	104
Friedemann Erbe, Jürgen Geißler, Günter Petter Trockenätzen von Substratoberflächen bei der Herstellung hochintegrierter Schaltkreise	136
Eberhard Alius, Armin-Beyrich, Peter Hopf, Axel Jahn, Jörg Ludewig Automatische Montage von Halbleiterchips unter Verwendung flexibler Zwischenträger	164
Karl-Christoph Gelfert, Dietmar Keller, Robert Pöschel Probleme des Einsatzes von Mikroprozessoren	178

Wolf-Joachim Fischer/Jürgen Teichmann

Entwurf von bipolaren und unipolaren Schaltkreisen

Für den Entwurf von Digitalschaltkreisen werden Logik- und Netzwerkanalyseprogramme eingesetzt. Die für den Schaltkreisentwerfer wichtigen Eigenschaften, Möglichkeiten und Grenzen solcher Programme werden diskutiert. Erfahrungswerte für Rechenzeit und Speicherplatzbedarf in Abhängigkeit von der Schaltungsgröße, die aus umfangreichen Rechnungen gewonnen wurden, werden mitgeteilt.

Die für die Simulation verwendeten Transistormodelle des Bipolar- und MOS-Transistors werden ausführlich vorgestellt. Für den Bipolartransistor wird das Transportmodell nach *Gummel-Poon* verwendet. Für den MOS-Transistor erfolgt eine detaillierte Behandlung des Einflusses der Lateralgeometrie auf die Kennliniengleichung.

Das Problem der Bestimmung der Modellparameter aus Meßwerten wird erörtert.

Willi Franke

Rechnergestützte Analyse nichtlinearer Schaltungen mit dem Programmiersystem STADYNET 2

Programme zur Analyse elektrischer Netzwerke sind heute Bestandteil einer effektiven rechnergestützten Schaltungsentwicklung. Mit dem Programmsystem STADYNET-2 steht ein Netzwerkanalyseprogramm zur Berechnung nichtlinearer elektrischer Schaltungen im Gleichstrom- und Zeitbereich zur Verfügung, das mit Erfolg auch für mikroelektronische Schaltungen hoher Komplexität eingesetzt wurde. Bestimmend für die Leistungsfähigkeit dieses Netzwerkanalyseprogramms sind eine optimale rechentechnische Systemkonzeption, zweckentsprechend ausgewählte numerische Lösungsverfahren und nicht zuletzt eine nutzerfreundliche, problemorientierte Eingabesprache.

Ausgehend von den mathematischen Grundlagen werden die programmtechnischen Lösungen sowie Anwendungsmöglichkeiten des Programmsystems STADY-NET-2 beschrieben.

Hartmut Hertzner

Analoge integrierte Schaltkreise

Das für die Herstellung von digitalen integrierten Schaltkreisen entwickelte SBC-Verfahren (standard buried collector), d. h. das Epitaxie-Planarverfahren mit pn-Übergangsisolation und begrabenem Gebiet, ist für analoge integrierte Schaltkreise (AIS) bezüglich der konstruktiven Gestaltung der Einzelbauelemente, der technologischen Perfektion und Variabilität wesentlich zu erweitern.

Die Technik der IS bietet dem Elektroniker bei analogen Signalen besondere Möglichkeiten und Schwierigkeiten. Die zunehmende Beherrschung technologischer Probleme schuf die Voraussetzungen für den Einsatz von AIS in der Konsumgüterelektronik.

Für typische Schaltkreisfamilien werden die Anforderungen an die elektrischen Parameter der Einzelbauelemente abgeleitet.

npn-Leistungstransistoren, Lateral- und Substrattransistoren, Kapazitäts- und Z-Dioden und eng tolerierte Widerstände sind Konstruktionselemente, die zur Realisierung der Schaltfunktionen erforderlich sind.

Die geforderten Schaltungseigenschaften stellen besondere Anforderungen an rauscharme Bauelemente, hohe Durchbruchspannungen und den Stromverstärkungsverlauf, insbesondere hohe Stromverstärkung bei kleinen Strömen.

Bei Verwendung von Standardverfahren ausreichender Variationsbreite läßt sich eine Basistechnologie gestalten, die die Anforderungen der verschiedenen analogen integrierten Schaltkreise erfüllt.

Dietrich Armgarth

Die I²L-Technik

In dieser Arbeit wird nach kurzen, einleitenden Bemerkungen auf das Prinzip der I²L-Technik eingegangen. Die logischen Funktionen, die die I²L-Gatter realisieren können, werden erläutert.

Im ersten Hauptabschnitt werden dann einige technologische Varianten der I²L-Technik diskutiert. Von der Vielzahl der Verfahren werden einige elektrische Parameter des Standardverfahrens, des VIL-Verfahrens, des S²L-Verfahrens und des I³L-Verfahrens angegeben. Die wichtigsten Parameter sind das Power-Delay-Produkt und die Stromverstärkungswerte der Transistoren.

Im zweiten Hauptabschnitt wird die I²L-Schaltungstechnik betrachtet. Die zur Zeit bekannten I²L-Schaltkreise werden kurz erläutert. Das sind die 4-K-Speicher und die Mikroprozessoren sowie die Uhrenschaltkreise. Ausführlich wird ein T-Flipflop diskutiert, das mit nur 4 Basiswannen aufgebaut werden kann und das besonders eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit der I²L-Technik demonstriert.

Abschließend werden einige Schaltkreise aufgeführt, die in nächster Zeit realisiert werden sollen.

Dieter Landgraf-Dietz

Integrierte Schaltungen in Silicon-Gate-Technik - Technologie und Kennwerteinstellung

Integrierte MOS-Schaltungen können vorteilhaft mit Gates aus polykristallinem Silizium hergestellt werden. Für diese Technologie und für die Schaltungsfamilie ist die Bezeichnung „Silicon-Gate-Technik“ gebräuchlich.

Ausgehend von der technischen Entwicklung und von den bekannten Vorteilen der Silicon-Gate-Technik werden in der vorliegenden Übersichtsarbeit die Technologie und die damit verbundene Einstellung der Kennwerte der Bauelemente integrierter Schaltungen behandelt. Dabei stehen die technologischen Prinziplösungen und die Wiedergabe von experimentellen Ergebnissen im Vordergrund. Die Aspekte des Einsatzes der Bauelemente integrierter Schaltungen werden mit angegeben.

Die Arbeit enthält eine in den Inhalt eingegliederte Sammlung von Fachliteratur.

Friedemann Erbe, Jürgen Geißler, Günter Petter

Trockenätzen von Substratoberflächen bei der Herstellung hochintegrierter Schaltkreise

Es werden neue Wirkprinzipien zum Strukturätzen von Substratoberflächen beschrieben, die die Anforderungen der Halbleitertechnologieentwicklung berücksichtigen. Von den vorgestellten Verfahren nimmt das plasmachemische Ätzen zur Zeit eine vorrangige Stellung ein, da es durch seine günstigen technischen und ökonomischen Eigenschaften in bereits bestehende Bauelementefertigungstechnologien eingesetzt werden kann und darüber hinaus die Erzeugung von Mikrometerstrukturen gewährleistet.

Das Ionenätzen ist universell für alle Substratmaterialien einsetzbar und gestattet als einziges Trockenätzverfahren die Herstellung von Strukturen im Submikrometerbereich. Wegen der niedrigen Ätzrateselektivität und Produktivität beschränkt sich jedoch sein Einsatz gegenwärtig auf die Herstellung von Sonderbauelementen.

Das hier kurz beschriebene Gasphasenätzen befindet sich im ersten Entwicklungsstadium, wird aber für die Strukturierung von SiO₂-Si-Schichtfolgen an Bedeutung gewinnen.

Die vorgestellten experimentellen Ergebnisse zum Trockenätzen können auf Grund der sich rasch vollziehenden Weiterentwicklung auf diesem Sektor kein abgerundetes Bild abgeben, sondern nur Anhaltspunkte über den gegenwärtigen Wissensstand und die sich abzeichnende zukünftige Entwicklung sein.

Eberhard Alius, Armin Beyrich, Peter Hopf, Axel Jahn, Jörg Ludewig

Automatische Montage von Halbleiterchips unter Verwendung flexibler Zwischenträger

Die Automatisierung der Montage von Halbleiterchips ist für die zukünftig zu erwartende Produktionserhöhung ohne Erweiterung der Produktionsflächen und ohne Erhöhung der Arbeitskräftezahlen zwingend notwendig. Führende Halbleiterbauelementehersteller haben deshalb modifizierte Folienbondverfahren entwickelt.

Die wesentlichen Merkmale dieser Verfahren - Bondhügel, flexibler zwei- oder dreischichtiger Zwischenträger auf Filmbändern, Innenbonden und Außenbonden - werden in diesem Beitrag in knapper Form erläutert.

Automatisierte Anlagen, die mehrere Ausrüstungsfirmen bereits anbieten, gestatten die Montage von Halbleiterchips auf Filmbändern mit 8, 11, 16, 35 oder 70 mm Breite und erreichen, nahezu unabhängig von der Anschlußzahl, eine Produktivität von 1000 bis 2 500 Chips je Stunde.

Karl-Christoph Gelfert, Dietmar Keller, Robert Pöschel

Probleme des Einsatzes von Mikroprozessoren

Die Arbeit behandelt Besonderheiten bei der Anwendung von Mikroprozessoren bzw. -rechnern und geht auf die wichtigsten, damit zusammenhängenden Probleme bei der Entwicklung und Nutzung dieser neuen Technik ein. Ausgehend von den Kriterien der Anwendbarkeit von Mikroprozessoren werden die Haupteinsatzgebiete kurz charakterisiert. Dabei wird insbesondere auf die Einsatzmotive und die Aufgaben der Mikroprozessoren bzw. -rechner eingegangen. Einen großen Raum nehmen die Besonderheiten der Einsatz- und Vertriebsformen, der Festlegung von Mikrorechnerkonfigurationen sowie der übrigen, im Rahmen der Einsatzvorbereitung erforderlichen Arbeiten ein.

Schwerpunktmäßig werden dabei die Erfordernisse der Programmentwicklung, speziell der Nutzung von Mikrorechner-Entwicklungssystemen behandelt.

Den Schluß des Beitrages bildet eine Zusammenstellung der vom VEB Kombinat Robotron für das Mikrorechnersystem K 1510 bereitgestellten Systemunterlagen.

Band 12

Erschienen: 1982

INHALTSVERZEICHNIS

Gerhard Schulze, Reinhard Tschierske, Herbert Tippmann Mikroprozessoren - eine neue Bauelementengeneration	7
Lothar Budach, Michael Weber Mathematische Probleme beim Entwurf von Mikroprozessoren	33
Hans-Jürgen Tiller Plasmaätzen von Festkörperoberflächen	50
Günter Schwarzrock Plastumhüllung von Halbleiterbauelementen	76
Rüdiger Uhlmann, Thomas Oswald, Rolf Specht Hermetikgehäuse für monolithische integrierte Schaltkreise	96
Hans Hart Meß- und Prüfprobleme von MOS-LSI-Schaltkreisen	115
Peter Haferkorn/Wolfgang Schwarz Applikation von Mikrorechnern	158

Gerhard Schulze, Reinhard Tschierske, Herbert Tippmann

Mikroprozessoren - eine neue Bauelementegeneration

Nach einleitenden Bemerkungen zur Definition des Mikroprozessors und zu seiner Einordnung in die Entwicklung der integrierten Technik wird ein kurzer Überblick über den prinzipiellen Aufbau, die Programmierung, die technologische Realisierung und die Anwendungsmöglichkeiten von Mikroprozessoren gegeben.

Ausführliche Tabellen der Einchip-, Mehrchip- und Bit-Slice-Typen mit Angabe einiger Hauptkenndaten bilden den Abschluß.

Lothar Budach, Michael Weber

Mathematische Probleme beim Entwurf von Mikroprozessoren

Es wird ein allgemeiner, grober Überblick über die beim Entwurfsprozeß mikroelektronischer Schaltkreise auftretenden mathematischen Fragestellungen gegeben. Gegenstand ausführlicher Betrachtungen ist die algorithmische Kompliziertheit von Problemen der diskreten Mathematik. Am klassischen Beispiel des Erfüllbarkeitsproblems der Aussagenlogik wird der Begriff des NP-vollständigen Problems eingeführt. Es wird begründet, daß es im Zusammenhang mit Fragestellungen der Praxis wenig sinnvoll ist, für als NP-vollständig erkannte Problemklassen hinsichtlich der Rechenzeit brauchbare Algorithmen zu suchen, die alle Probleme aus der Klasse lösen. Eine kommentierte Zusammenstellung einiger NP-vollständiger Probleme macht deutlich, daß viele Fragen in der Mikroelektronik auf vollständige Probleme führen.

Am Beispiel des Vergleichs zweier Netzwerke, formuliert als Frage nach der Isomorphie zweier Graphen, wird eine mögliche Vorgehensweise bei solchen „schweren Problemen“ demonstriert.

Hans-Jürgen Tiller

Plasmaätzen von Festkörperoberflächen

Nach einer Zusammenfassung des derzeitigen technologischen und experimentellen Standes des Plasmaätzens wird die Diskussion auf mögliche Oberflächenprozesse beim Plasmaätzen von SiO_2 und $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ eingeschränkt. Es werden Oberflächenreaktionen von Gasphasenradikalen, die zur Bildung flüchtiger Reaktionsprodukte führen und Reaktionen, die über Oberflächenverbindungen, die über eine direkte Plasma-Oberflächen-Wechselwirkung in die Gasphase überführt werden, ablaufen, diskutiert.

Der unterschiedliche Ablauf beider Prozesse ist die Grundlage des isotropen bzw. anisotropen

Ätzverhaltens verschiedener Substrate.

Über die eigentlichen Oberflächenreaktionen ist bisher wenig bekannt. Für das System $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CCl}_4$ -Plasma werden einige Möglichkeiten hypothetisch diskutiert.

Abschließend werden phänomenologische Ergebnisse zur Abhängigkeit der Ätzprofile und Ätzparameter von den Plasmabedingungen zusammengestellt. Ein direkter theoretischer Zusammenhang ist auf Grund der ungenügenden Kenntnisse des Ätzmechanismus, der Struktur und Reaktivität der Oberflächenverbindungen und letztlich auch des Molekülplasmas derzeit nicht möglich.

Günter Schwarzrock

Plastumhüllung von Halbleiterbauelementen

Ein wichtiger Faktor, der die Eigenschaften, Zuverlässigkeit und Kosten elektronischer Bauelemente bestimmt, ist die Gehäusetechnik. Unter den verschiedenen Gehäusetechnologien hat sich die Niederdruck-Spritzpreßtechnologie wegen ihrer geringen Kosten, hohen Produktivität und stabilen Qualität durchgesetzt.

Dieser Artikel beschreibt zunächst die erforderlichen Charakteristiken und Kennwerte für Plastmaterialien, die beim Spritzpreßverfahren benutzt werden. Die am häufigsten benutzten Plastmaterialien sind Epoxidharzformmassen, aber Silikonformmassen werden für Hochleistungsanwendungen bevorzugt verwendet. Der Entwicklung von Epoxidharzformmassen ist die gegenwärtige Ausdehnung des Einsatzes von Plastumhüllungen zu verdanken.

Die Umhüllparameter, einschließlich Tablettierung und Vorwärmung, werden im Hauptteil abgehandelt.

Die Vor- und Nachteile bzw. Grenzen der Arbeitsbereiche werden dargestellt. Methoden zur optimalen Festlegung der Parameter werden diskutiert; erprobte Bedingungen werden angegeben.

Die folgenden Abschnitte stellen die Haupttypen der Plastgehäuse dar. Herstellungs- und Anwendungsfragen werden diskutiert.

Der letzte Abschnitt beschreibt Stresstests, die bereits längere Zeit angewendet werden und sich bei der Auswahl geeigneter Gehäusekonstruktionen bewährt haben.

Rüdiger Uhlmann, Thomas Oswald, Rolf Specht

Hermetikgehäuse für monolithische integrierte Schaltkreise

Dieser Beitrag befaßt sich mit hermetischen Gehäusen für monolithisch integrierte Schaltkreise. Ausgehend von den allgemeinen technischen Forderungen, werden der Aufbau und die Herstellverfahren von Hermetikgehäusen behandelt.

Weiterhin wird auf Fragen der Werkstoffe, der Verschlusstechnik und der Anwendungsgebiete eingegangen. Beschrieben werden das Zweischalen- und Mehrschicht-Keramikgehäuse, das Vitrokeramikgehäuse sowie der keramische Chipträger. Die Vor- und Nachteile dieser verschiedenen Gehäuse und ihrer konstruktiven Varianten werden aufgezeigt.

Hans Hart

Meß- und Prüfprobleme von MOS-LSI-Schaltkreisen

Die elektrischen Prüfungen von LSI-Schaltkreisen im Rahmen der Fertigung sind als unabdingbare Produktionsschritte von entscheidender Bedeutung für das Erzeugnis. Deshalb wird zunächst ein Überblick über die Arten der verschiedenen Prüfungen, wie Bestimmung statischer und dynamischer Kenngrößen und Funktionsprüfung, gegeben. Daraus werden die Konzeptionen für die einzelnen Testerarten:

- DC-Parameter-Tester,
- Speicher-Tester und LSI/CPU-Tester

abgeleitet. Ausführlich werden die bei der Prüfung auftretenden Probleme und die Möglichkeiten für ihre Bewältigung abgehandelt. Der Aufbau derartiger Tester wird beschrieben und die erreichten technischen Parameter werden zusammengestellt. Den Abschluß des Beitrages bilden Überlegungen, wie die Tester durch Paralleltestung mehrerer Prüflinge möglichst optimal ausgenutzt werden können.

Peter Haferkorn, Wolfgang Schwarz

Applikation von Mikrorechnern

Ein Mikrorechner ist ein aus Standard-LSI-Bauelementen um eine integrierte zentrale Verarbeitungseinheit, den Mikroprozessor, herum aufgebauter multivalent einsetzbarer Rechner. Mit seiner Entwicklung und Verbreitung setzt ein prinzipieller Wandel im Tätigkeitsbild des Elektronikingenieurs ein. Während er bisher gewohnt war, in verdrahteten Strukturen der Analog- und Digitaltechnik zu denken, muß er sich jetzt mehr mit der Algorithmierung seiner Verarbeitungsprobleme und der Programmierung der entwickelten Algorithmen befassen.

Der Computer - bisher im wesentlichen als willkommenes Arbeitsmittel in fertig ausgearbeiteter Form genutzt - wird nun zum unmittelbaren Gegenstand der Tätigkeit eines breiten Kreises von Entwicklungsingenieuren. Die grundsätzlichen Aspekte dieser Entwicklung darzustellen und einige Probleme etwas genauer zu beleuchten ist das Ziel dieses Artikels.