

Technische Physik in Einzeldarstellungen Band 16

Begründet von W. Meissner und M. Nábauer

Herausgegeben von F. X. Eder

Technologie der Galliumarsenid-Bauelemente

von

Waldemar von Münch

Mit 187 Einzelabbildungen



Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

J. F. Bergmann Verlag München

1969

Dr. phil. nat. Waldemar von Münch
Professor im Institut für Halbleitertechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

ISBN-13: 978-3-642-88372-9
DOI: 10.1007/978-3-642-88371-2

e-ISBN-13: 978-3-642-88371-2

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer Verlag Berlin Heidelberg 1969
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1969
Library of Congress-Catalog-Card-Nr. 79-95564
Titel-Nr. 6578

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Vorwort

Während die Technologie der Germanium- und Siliziumbauelemente bereits vor Jahren eine außerordentlich rasche Entwicklung vom Laborstadium zur industriellen Massenfertigung durchgemacht hat, befindet sich die Technologie der Galliumarsenid-Bauelemente gegenwärtig in einem nur verhältnismäßig langsam fortschreitenden Prozeß des Überganges von der Laborentwicklung zur Fertigungsreife. Diese Tatsache steht in ursächlichem Zusammenhang mit den sehr erheblichen technologischen Schwierigkeiten bei der Herstellung geeigneten Galliumarsenid-Materials und bei der Realisierung von Galliumarsenid-Bauelementen. Ferner sind die Ursachen einiger nachteiliger Eigenschaften von Galliumarsenid-Bauelementen (z.B. Frequenzbegrenzung bei bipolaren Transistoren, Kennlinienveränderungen bei Tunnelnioden) noch nicht vollständig geklärt.

In jüngster Zeit ist nun ein steigender kommerzieller Einsatz von Galliumarsenid-Bauelementen — insbesondere von Höchsthfrequenzdioden und optoelektronischen Bauelementen — zu bemerken. Mit dem Einsatz von Elektronentransfer-Bauelementen kann in Kürze gerechnet werden. Es ist zu erwarten, daß diese neuere Entwicklung, die von wesentlichen Verbesserungen auf dem Materialsektor begleitet wird, auch befruchtend auf die Weiterentwicklung von „klassischen“ Bauelementen (bipolare und Feldeffekttransistoren) wirkt. In dieser Situation erscheint es wünschenswert, einem möglichst großen Kreis von Fachleuten und Studierenden höherer Semester eine zusammenfassende Darstellung des heutigen Standes der Galliumarsenid-Technologie zur Verfügung zu stellen. Die jedem Kapitel beigefügten Literaturverzeichnisse sollen eine Hilfestellung für den an Einzelfragen interessierten Leser geben. Bei der Auswahl der Literaturstellen wurde zusammenfassenden Darstellungen der Vorzug gegeben, da diese — im Vergleich zu Originalarbeiten — dem Leser eine umfassendere und oft besser aufbereitete Information liefern.

W. von Münch

Inhalt

1. Einleitung	1
Literatur	3
2. Physikalische Eigenschaften des Galliumarsenids	3
2.1 Eigenschaften des reinen Galliumarsenids	3
2.2 Eigenschaften des dotierten Galliumarsenids	8
Literatur	14
3. Galliumarsenid als Grundmaterial für elektronische Bauelemente	15
3.1 Dioden und Transistoren	15
3.2 Opto-elektronische Bauelemente	20
3.3 Elektronentransfer-(GUNN-Effekt-) Bauelemente	21
3.4 Germanium-Galliumarsenid-Heterobauelemente	22
Literatur	23
4. Herstellung und Prüfung des Galliumarsenid-Grundmaterials	24
4.1 Horizontale Kristallisation	25
4.2 Zugtechnik (CZOCHEWALSKI-Verfahren)	27
4.3 Tiegfremde Zonenschmelze	29
4.4 Epitaxie aus der Gasphase	31
4.5 Prüfung des Kristallmaterials	38
Literatur	44
5. Diffusionstechnik	46
5.1 Diffusion aus der Gasphase	49
5.11 Donatordiffusion aus der Gasphase	52
5.11.1 Schwefeldiffusion	54
5.11.2 Selendiffusion	55
5.11.3 Tellurdiffusion	57
5.11.4 Zinndiffusion	58
5.12 Akzeptordiffusion aus der Gasphase	60
5.12.1 Magnesiumdiffusion	60
5.12.2 Zinkdiffusion	61
5.12.3 Cadmiumdiffusion	68
5.12.4 Mangandiffusion	69
5.2 Diffusion aus der festen Phase	70
5.21 Siliziumdiffusion	71
5.22 Berylliumdiffusion	72
5.23 Diffusion aus dotierten Siliziumdioxidschichten	73
5.23.1 Zinndiffusion aus Siliziumdioxid	79
5.23.2 Zinkdiffusion aus Siliziumdioxid	81
5.23.3 Doppeldiffusion aus Siliziumdioxid	83

5.3 Maskierung	84
5.31 Maskierung mit Siliziumdioxid	89
5.32 Andere Maskierungssubstanzen	92
Literatur	93
6. Legierungstechnik	94
6.1 Epitaxie aus der flüssigen Phase	95
6.2 Ohmsche Kontakte	100
Literatur	103
7. Dioden	103
Literatur	106
8. Bipolare Transistoren	106
8.1 <i>npn</i> -Transistoren	106
8.11 Doppeldiffusion aus der Gasphase.	107
8.12 Diffusion aus fester Quelle und Gasphase.	115
8.13 Doppeldiffusion aus fester Phase	117
8.14 Epitaxie-Diffusion	119
8.2 <i>pnp</i> -Transistoren	120
8.21 Doppeldiffusion aus der Gasphase.	121
8.22 Diffusion aus fester Quelle und Gasphase.	122
8.23 Epitaxie-Diffusion	123
8.3 Vierschichttransistoren.	124
Literatur	126
9. Feldeffekttransistoren	126
9.1 Sperrschicht-Feldeffekttransistoren	128
9.2 Feldeffekttransistoren mit isolierter Steuerelektrode	130
9.3 Feldeffekttransistoren mit SCHOTTKY-Kontakt	131
Literatur	135
10. Opto-elektronische Bauelemente	135
10.1 Leuchtdioden	136
10.2 Injektionslaser.	139
Literatur	146
11. Elektronentransfer-(GUNN-Effekt-)Bauelemente	146
Literatur	152
12. Integrierte Bauelemente	152
Literatur	155
Sachverzeichnis	156

Liste der Symbole

a_0	Gitterkonstante
B	magnetische Induktion
C	Konzentration
\bar{C}	Flächendichte
\bar{C}_0	Oberflächenkonzentration
C_{Gi}	Konzentration auf Gitterplätzen
C_{Zw}	Konzentration auf Zwischengitterplätzen

c	reduzierte Konzentration (C/C_0)
C	Kapazität
C_c	Kollektorkapazität
C_i	ideale Kapazität der Steuerelektrode (pro Flächeneinheit)
C_{eff}	effektive Kapazität der Steuerelektrode (pro Flächeneinheit)
D	Diffusionskonstante
D_0	auf $T = \infty$ extrapolierte Diffusionskonstante
D_s	Diffusionskonstante an der Oberfläche
D_{Gi}	Diffusionskonstante für Diffusion auf Gitterplätzen
D_{Zw}	Diffusionskonstante für Diffusion auf Zwischengitterplätzen
D^*	effektive Diffusionskonstante
D°	ambipolare Diffusionskonstante (Elektronen und Löcher)
d	Dichte, Dicke
E	Energie
E_a	Aktivierungsenergie
E_L	Energie der Unterkante des Leitungsbandes
E_V	Energie der Oberkante des Valenzbandes
E_G	Bandabstand
E'_G	effektiver Bandabstand
E_{rx}	energetischer Abstand zwischen Γ - und X -Minimum
E_{rL}	energetischer Abstand zwischen Γ - und L -Minimum
E_{Fn}	Energie des Quasi-Ferminiveaus der Elektronen
E_{Fp}	Energie des Quasi-Ferminiveaus der Löcher
F	Feldstärke
F_k	kritische Feldstärke
f	Frequenz
f_{max}	Grenzfrequenz der Leistungsverstärkung
f_T	Grenzfrequenz der Stromverstärkung
f_{LG}	Frequenz der Laufzeit-Grundschiwingung
g_{m0}	maximale Steilheit
h	Plancksches Wirkungsquantum
I	Strom
i	Stromdichte
i_t	Schwellenstromdichte
k	Boltzmannkonstante
\mathbf{k}	Wellenzahlvektor
L	Diffusionslänge ($\sqrt{D\tau}$)
L_n	Diffusionslänge der Elektronen
L_p	Diffusionslänge der Löcher
l	Länge
m_0	Elektronenmasse
m_n	effektive Masse der Elektronen
m_p	effektive Masse der Löcher
N_A	Akzeptorenkonzentration
N_D	Donatorenkonzentration
N_{AA}	Konzentration tiefliegender Akzeptoren
N_{DD}	Konzentration tiefliegender Donatoren
N_L	effektive Termdichte des Leitungsbandes
N_V	effektive Termdichte des Valenzbandes
n	Elektronenkonzentration
n_0	Gleichgewichts-Elektronenkonzentration
n_i	Eigenkonzentration

n	Brechungsindex
p	Löcherkonzentration
p_D	Dampfdruck
p_{As}	Arsendampfdruck
Q_n	Flächendichte beweglicher Ladungsträger
Q_S	Flächendichte der Ladungsträger in Grenzflächenzuständen
q	Elementarladung
R	Reflexionsfaktor
R_H	HALL-Konstante
r_b	Basiswiderstand
S_{ph}	Photonenstromdichte
T	absolute Temperatur
T_S	Schmelzpunkt
t	Zeit
U	Spannung
U_B	Durchbruchspannung
U_{A0}	Sättigungsspannung
U_G	Steuerspannung
U_{PGM}	photogalvanomagnetische Leerlaufspannung
ΔU_{PL}	Spannungsänderung durch Photoleitung
V_{As}	Arsen-Leerstelle
V_{Ga}	Gallium-Leerstelle
v_{dr}	Driftgeschwindigkeit
x	Ortskoordinate (Abstand von der Oberfläche)
x_0	Dicke einer Quellen- oder Maskierschicht
x_{00}	Grenzdicke vollständiger Maskierung
x_j	Abstand des pn -Überganges von der Oberfläche
α	Absorptionskonstante, Stromverstärkung in Basisschaltung
β	Ausdehnungskoeffizient, Stromverstärkung in Emitterschaltung, Lichtverstärkung pro Längeneinheit und Einheit der Stromdichte
ϵ	Dielektrizitätskonstante
ϵ_0	Vakuum-Dielektrizitätskonstante
ϵ_r	relative Dielektrizitätskonstante
Θ_D	DEBYE-Temperatur
κ	Verteilungskoeffizient
λ	Wärmeleitfähigkeit, Wellenlänge
λ_{min}	Wellenlänge minimalen Reflexionsvermögens
μ_n	Elektronenbeweglichkeit
μ_p	Löcherbeweglichkeit
$\mu_n\Gamma$	Elektronenbeweglichkeit im Γ -Minimum
μ_nX	Elektronenbeweglichkeit im X -Minimum
ν	Lichtfrequenz
ρ	spezifischer Widerstand
ρ_i	spezifischer Widerstand bei Eigenleitung
σ	spezifische Leitfähigkeit
τ	Zeitkonstante
τ_b	Trägerlaufzeit durch die Basis
τ_n	Lebensdauer der Elektronen
τ_p	Lebensdauer der Löcher
τ_{PL}	Lebensdauer aus Photoleitung
τ_{PGM}	Lebensdauer aus photogalvanomagnetischem Effekt
$\tau_{\Gamma X}$	Zeitkonstante für Umbesetzung zwischen Γ - und X -Minimum