



Mark Isler (Autor)

Hochfeld-Transporteffekte in Heterostruktur-Feldeffekttransistoren und ihr Einfluss auf das Hochfrequenzverhalten

Elektrotechnik

Mark Isler

**Hochfeld-Transporteffekte in
Heterostruktur-Feldeffekttransistoren
und ihr Einfluss
auf das Hochfrequenzverhalten**



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3291>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Symbole und Abkürzungen	ix
1 Einleitung	1
2 Modellierung des Ladungsträgertransports in Halbleitern	6
2.1 Das semiklassische Bild	6
2.1.1 Die Ein-Teilchen-Verteilungsfunktion	6
2.1.2 Die Boltzmann-Transportgleichung	7
2.2 Die Monte-Carlo-Methode	11
2.2.1 Freier Flug und Streuung	11
2.2.2 Zeit- und Ensemblemittelwerte	13
2.3 Das Zelluläre-Automaten-Verfahren	14
2.3.1 Diskretisierung des Wellenvektorraumes und 'ab-initio'-Berechnung der Streutabellen	15
2.3.2 Das Mehrfachstreukonzept	17
2.4 Modellierung der Bandstruktur und der Streumechanismen	19
3 Hochfeldtransport: Heiße Ladungsträger I	23
3.1 Transportgrößen der Verbindungshalbleiter InAlAs, InGaAs und InP	23
3.1.1 Driftgeschwindigkeit und mittlere Energie	23
3.1.2 Stoßionisationsrate und Stoßionisationskoeffizient	27
3.2 Stoßionisation der Elektronen in $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	31
3.2.1 Phononenunterstützte Stoßionisation	32
3.2.2 Einfluss der Gittertemperatur auf die Stoßionisation	41
4 Hochfeldtransport: Heiße Ladungsträger II	46
4.1 Generation und Rekombination an tiefen Störstellen	46
4.1.1 Einfangen und Emission als Multiphononübergänge	47

4.1.1.1	Das Konfigurationskoordinaten-Diagramm	47
4.1.1.2	Die Multiphonon-Einfangwahrscheinlichkeit	49
4.1.1.3	Die Multiphonon-Emissionswahrscheinlichkeit	54
4.1.2	Berücksichtigung von Einfang- und Emissionsprozessen in der Transport- simulation	56
4.1.3	Einfangen heißer Ladungsträger am Beispiel von InP:Fe	59
4.1.4	Emission als phononenunterstützter Tunnelprozess	64
4.1.4.1	Übergangsrate des phononenunterstützten Tunnelns	64
4.1.4.2	Einfangen und Emission von Elektronen am Defekt E3 in GaAs . .	67
5	InAlAs/InGaAs-Heterostrukturen	71
5.1	Zweidimensionales Elektronengas (2DEG)	71
5.1.1	Selbstkonsistente Lösung der Schrödinger- und Poissongleichung	71
5.1.2	Energieniveaus und Wellenfunktionen des 2DEG	73
5.2	InAlAs/InGaAs-Heterostrukturen mit variablem Indium-Anteil	75
5.2.1	DX-Donator-Modell	76
5.2.2	DX-Zentren im Materialsystem InAlAs	78
6	Simulation von InAlAs/InGaAs-HFETs	84
6.1	Kopplung der Partikelbewegung und der Poissongleichung	84
6.2	Ortsaufgelöste Berücksichtigung der Entartung	90
6.2.1	Modellierung des Pauli-Prinzips	90
6.2.2	Ohmsche Zuleitungsbereiche: Einfluss der Entartung	93
6.3	Das Ausgangskennlinienfeld des HFET	95
6.4	Das Hochfrequenzverhalten des HFET	100
6.4.1	Berechnung der Hochfrequenzeigenschaften des Bauelements	100
6.4.2	Das Kleinsignal-Ersatzschaltbild des HFET	105
6.4.3	Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messdaten: Streu-Parameter	108
6.4.4	Bestimmung der Frequenzgrenzen und Kleinsignalparameter	110
6.5	Ortsaufgelöste Transportgrößen	115
6.5.1	2D-Verteilungen im Bauelement	115
6.5.2	Transportgrößen im Kanal	119
6.5.3	Arbeitspunktabhängigkeit des elektrischen Feldprofils	121
7	Dual-Gate-HFETs	124
7.1	Ausgangskennlinienfeld und Übertragungscharakteristik	126

7.2	Ortsaufgelöste Transportgrößen	128
7.2.1	Potentialverlauf bei zwei Gate-Kontakten	128
7.2.2	Profil der mittleren Energie und Driftgeschwindigkeit im Kanal	130
7.3	Einfluss des zweiten Gate-Kontaktes auf die HF-Eigenschaften	133
7.3.1	Admittanz-Parameter	133
7.3.2	Kleinsignal-Ersatzschaltbildelemente	135
7.3.3	Frequenzgang der Verstärkung	139
8	Durchbruchverhalten von (InGa)As-Kanal-HFETs	142
8.1	Ortsaufgelöste Untersuchung der Stoßionisation	143
8.1.1	Stoßionisation im Kanal versus 'real space transfer'	143
8.1.2	Einfluss der Gate-Spannung auf den Ort der Stoßionisation	145
8.2	Durchbruchcharakteristik: Vergleich mit Messdaten	147
8.3	Durchbruchverhalten bei zwei Gate-Kontakten	150
8.3.1	Wahl der Arbeitsgeraden für maximale Ausgangsleistung: 1 Gate kontra 2 Gates	150
8.3.1.1	Bestimmung der Durchbruchspannung und der Arbeitsgeraden . .	150
8.3.1.2	Bestimmung der maximalen Ausgangsleistung	152
8.3.1.3	Dual-Gate-HFET kontra Single-Gate-HFET	152
8.3.2	Einfluss der Stoßionisation auf die Steilheit	156
8.4	Tunnelprozesse der Löcher	157
8.4.1	Modellierung des Tunneleffekts	157
8.4.2	Einfluss des Tunnelns der Löcher im Gate-Bereich	158
8.5	Raumladungseffekt der durch Stoßionisation erzeugten Löcher	160
8.5.1	Raumladungseffekt im Dual-Gate-HFET	160
8.5.2	Raumladungseffekt im Single-Gate-HFET unter InAs-ähnlichen Stoß- ionisationsbedingungen	165
8.6	Einfluss der Stoßionisation auf die Hochfrequenzeigenschaften	168
8.6.1	Frequenzdispersion der Kleinsignalparameter	168
8.6.2	Um Stoßionisationseffekte erweitertes Kleinsignal-Ersatzschaltbild	170
8.6.3	Einfluss der Stoßionisation auf die Y-Parameter bei starkem Raumladungseffekt	175
8.6.4	Hochfrequenzverhalten von InAs-HFETs	178
9	Zusammenfassung	184
	Anhang	189
A	Materialparameter für InGaAs, InAlAs und InP	189

B	Übergangswahrscheinlichkeiten der Streuprozesse	191
C	Kleinsignalmodellierung der Dual-Gate-HFET-Kaskode	193
	Literaturverzeichnis	195
	Im Rahmen dieser Arbeit entstandene Veröffentlichungen	209