

Dipl.-Ing. Klaus-Michael Lipka, Ulm

# **Niedertemperatur-Gallium- Arsenid-Hetero-Feld-Effekt- Transistor**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **244**

# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Gallium-Arsenid-Feld-Effekt-Transistoren .....	5
2.1	Charakteristik des Metall-Halbleiter-Feld-Effekt-Transistors .....	6
2.2	Leistungsdichten mit GaAs-MESFETs in der Betriebsklasse A .....	8
2.2.1	Drain-Stromhub .....	10
2.2.2	Gate-Drain-Durchbruch .....	12
2.2.3	Hochfelddomäne im Überschußbereich .....	14
2.2.4	Akkumulations-Verarmungs-Dipol .....	15
2.2.5	Oberflächentunnelströme .....	15
2.3	GaAs-Metall-Isolator-Halbleiter-Feld-Effekt-Transistoren .....	15
2.4	FET mit verlustbehaftetem Dielektrikum .....	16
2.4.1	Durchbruchcharakteristik des LD-HFET .....	18
2.4.2	Zeitkonstanten im LD-HFET .....	20
2.4.2.1	Steilheitsdispersion im LD-HFET .....	20
2.4.2.2	Laterale Potentialverteilung .....	21
3	Niedertemperatur-Molekularstrahl-Epitaxie-Gallium-Arsenid .....	23
3.1	Leitfähiges Niedertemperatur-GaAs .....	24
3.1.1	$\sigma$ -LT-GaAs .....	26
3.1.2	Energieniveaus im $\sigma$ -LT-GaAs .....	27
3.1.3	Durchbruchcharakteristik des $\sigma$ -LT-GaAs .....	28
3.2	Semi-Isolierendes-LT-GaAs .....	29
3.3	Technologie des LT-GaAs .....	30
4	$\sigma$ -LT-GaAs als verlustbehaftetes Dielektrikum .....	31
4.1	Struktur des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	31
4.1.1	$\sigma$ -LT-GaAs Oberflächenschicht .....	31
4.1.2	Diffusionsbarriere .....	32
4.1.3	FET-Kanal .....	32
4.1.4	Pufferschicht .....	32
4.2	Eingangscharakteristik des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	33
4.2.1	Ersatzschaltbildentwurf der LD-Eingangsdiode .....	33
4.2.2	Ersatzschaltbildvereinfachungen .....	34
4.2.3	MISFET-Eingangscharakteristik .....	35
4.2.4	Drain-Stromhub im $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	38

## VI

4.3	Ausgangscharakteristik des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	39
4.3.1	Ersatzschaltbild des verlustbehafteten Dielektrikum im HFET .....	39
4.3.2	Laterale Potentialverteilung im $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	41
4.4	Kleinsignalcharakteristik des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	42
5	Technologie des LD-HFET .....	44
5.1	Bauelement-Isolierung .....	45
5.2	Technologie der ohm'schen Drain-Source-Kontakte .....	45
5.2.1	Kontakte durch das Dielektrikum .....	47
5.2.2	Kontaktfenstertechnologie .....	50
5.3	Gatekontakt und Gategrabentechnologie .....	53
6	Meßtechnische Analyse des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET .....	55
6.1	Quasistatische Charakteristik .....	55
6.1.1	Charakteristik der Gate-Source-Steuerdiode .....	55
6.1.2	Charakteristik der Gate-Drain-Diode .....	59
6.1.2.1	Durchbruchcharakteristik .....	59
6.1.2.2	Temperaturkoeffizient des Gate-Drain-Durchbruchs.....	60
6.1.3	Zwei-Tor-Charakteristik .....	62
6.1.3.1	Durchbruchspannungen .....	62
6.1.3.2	Ausgangskennlinienfeld .....	63
6.1.3.3	Großsignalbetrieb .....	65
6.2	Dynamischer Kleinsignalbetrieb .....	66
6.2.1	Steilheitsdispersion .....	66
6.2.2	Grenzfrequenzen .....	69
6.3	Mikrowellen-Großsignalbetrieb .....	72
6.3.1	Mikrowellen-Durchbruchspannungen .....	74
6.3.1.1	Mikrowellen-Gate-Drain-Durchbruch .....	74
6.3.1.2	Mikrowellen-Drain-Source-Durchbruch .....	75
6.3.1.3	Mikrowellen-Gate-Source-Durchbruch .....	76
6.3.2	Mikrowellen-Stromhub-Charakteristik .....	76
6.3.2.1	Stromkompression in Abhängigkeit der Bauelementgeo- metrie .....	78
6.3.2.2	Stromkompression in Abhängigkeit des Oberflächenwider- standes .....	79
6.4	Bauelementoptimierung .....	80
6.4.1	Schichtdickenoptimierung .....	81
6.4.2	Leitfähigkeitsoptimierung .....	83

## VII

7	Schlußfolgerungen und Perspektiven .....	85
7.1	Leistungsgrenzen des $\sigma$ -LT-GaAs-LD-HFET oberhalb von $f_D$ .....	85
7.2	Alternative dielektrische Materialien .....	92
7.3	Einsatzgebiete des LD-HFET außerhalb des Leistungsbetriebs.....	92
8	Zusammenfassung .....	94
Anhang A	Technologieprozesse .....	96
Anhang B	Bestimmung der Dispersionsfrequenz .....	99
Literatur	.....	102

## Liste der verwendeten Abkürzungen

a	Effektiver Kanalquerschnitt
A	Ampere
$a_0$	Metallurgischer Kanalquerschnitt
AC	Wechselstrom
Al	Aluminium
AlAs	Aluminium-Arsenid
AlGaAs	Aluminium-Gallium-Arsenid
As	Arsen
$As_{Ga}$	Arsen-Antisitedefekt
$As_j$	Arsen auf einem Zwischengitterplatz
Au	Gold
C	Kapazität
°C	Grad Celsius
$C_{AlAs}$	Kapazität der AlAs-Diffusionsbarriere
$C_{DGD}$	Kapazität des Dielektrikums zwischen Gate und Drain
$C_{DGS}$	Kapazität des Dielektrikums zwischen Gate und Source
$C_{GD}$	Gate-Drain-Kapazität
$C_{GS}$	Gate-Source-Kapazität
$C_{LT-GaAs}$	Kapazität der LT-GaAs-Oberflächenschicht
$C_{LD}$	Kapazität des verlustbehafteten Dielektrikums
$C_{RLZ}$	Kapazität der Raumladungszone im FET
$\bar{D}$	Elektrische Verschiebungsdichte
DC	Gleichstrom