

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen

xxi

1	Einleitung, Stand der Technik, Zielstellungen	1
1.1	Wide-Bandgap-Halbleiter für energieeffiziente Leistungsschalter	1
1.2	GaN-HEMTs und deren Anwendungsfelder	7
1.3	Stand der Technik: GaN auf Si und die Rolle von Versetzungen und inversen Pyramidendefekten (V-pits)	9
1.4	Zielsetzung und Struktur der Arbeit	12
2	Grundlagen: GaN-HEMTs auf Si, Versetzungen und V-pits	17
2.1	Motivation und Prinzip von GaN-HEMTs	17
2.1.1	Eigenschaften der Gruppe-III-Nitride (Al,Ga,In)N	17
2.1.2	Die AlGaIn/GaN-Heterostruktur und das 2DEG	19
2.2	Epitaxie und Prozessierung von AlGaIn/GaN-HEMTs auf Si	22
2.2.1	Substratwahl: GaN-Substrat vs. Fremdsubstrat	22
2.2.2	Metall-organische, chemische Gasphasenabscheidung	23
2.2.3	AlGaIn/GaN auf Si und Entstehung von Versetzungen und V-pits	25
2.2.4	Prozesstechnologie	35
2.3	Versetzungen und V-pits vs. elektrische Material- und Bauelementeigenschaften	36
2.3.1	Versetzungen als Leckstrompfade	36
2.3.2	V-pits als Zentren vertikalen Durchbruchs	40
3	Experimentelle Methoden und untersuchte Proben	43
3.1	In der Arbeit untersuchte Proben	43
3.2	Probenpräparation	48
3.2.1	Vereinzelung, Ätzen von SiN und Probenreinigung	48
3.2.2	Mechanische Präparation von Querschnitten und Schräg-schliffen	50
3.3	Charakterisierung mittels Rasterkraftmikroskopie (AFM)	52
3.3.1	Topographie mittels Tapping-AFM	52
3.3.2	Leckstrompfade mittels leitfähigem AFM (C-AFM)	56
3.4	Charakterisierung mittels Rasterelektronenmikroskopie (SEM)	62
3.4.1	Topographie und Materialkontrast mittels Sekundär- und Rückstreuelektronenmikroskopie (SE/BSE)	63

xiii

3.4.2	Qualitative Elementzusammensetzung mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS)	65
3.4.3	Visualisierung von TDs und Bestimmung des Al-Gehalts mittels Kathodolumineszenz (CL)	67
3.5	TD-Dichten und -Typen mittels defektselektivem Ätzen (DSE) . .	71
3.6	Zusammenfassung: Charakterisierung von Versetzungen und V-pits	74
4	Korrelative Analytik von Versetzungen und V-pits	79
4.1	Untersuchung von Versetzungen	79
4.1.1	Entwicklung einer Messmethodik in direkter Korrelation .	80
4.1.2	Systematik der Analyse struktureller und elektrischer Versetzungseigenschaften	85
4.1.3	Einfluss von Nukleationsqualität und C-Dotierung auf Versetzungscharakteristika	91
4.1.4	Ursachen versetzungsinduzierter Leckströme	97
4.2	Untersuchung von V-pits	105
4.2.1	Entwicklung einer Messmethodik in direkter Korrelation .	106
4.2.2	Einfluss von Nukleationsqualität auf die Dichte an V-pits .	111
4.2.3	Ursache der elektrischen Leitfähigkeit von V-pits	113
4.3	Zusammenfassung: Eigenschaften von Versetzungen und V-pits . .	121
5	Versetzungen und V-pits vs. Bauelemente	125
5.1	Rolle von Versetzungen in der AlGa _N -Barriere	126
5.1.1	Entwicklung eines Experiments zum direkten Nachweis des Einflusses auf Schottky-Dioden	127
5.1.2	Ergebnisse in Durchlassrichtung	134
5.1.3	Ergebnisse in Sperrrichtung	139
5.1.4	Einfluss auf Gate-Durchbruch von AlGa _N /Ga _N -HEMTs . .	142
5.2	Rolle von V-pits und Versetzungen in den Pufferschichten	144
5.3	Zusammenfassung: Versetzungen und V-pits vs. HEMTs und Schottky-Dioden	150
6	Wertende Zusammenfassung und Ausblick	155
	Referenzen	161
	Veröffentlichungen	179
	Danksagung	181