

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>I. Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>II. Bestimmung der Zuverlässigkeit von HBTs</b> .....	<b>11</b>
II.1. Zuverlässigkeitsrechnung.....	12
II.1.1. Verteilungsfunktion .....	12
II.1.2. Zuverlässigkeitsfunktion.....	12
II.1.3. Dichtefunktion .....	14
II.1.4. Mittlere Lebensdauer – <i>MTTF</i> .....	14
II.1.5. Ausfallrate.....	14
II.1.6. Weibullverteilung .....	16
II.2. Lebensdauerbestimmung von HBTs .....	18
II.2.1. Beschleunigte Alterung.....	18
II.2.1.1. Beschleunigung der Alterung mit Temperatur .....	19
II.2.1.2. Spannungs- und Strombeschleunigung.....	22
II.2.2. Burn-in .....	23
<b>III. Der Heteroübergang-Bipolartransistor (HBT)</b> .....	<b>25</b>
III.1. Aufbau und Konzept des HBT .....	26
III.1.1. Funktionsweise des HBT .....	27
III.2. Herstellung von HBTs.....	30
III.2.1. Epitaxie .....	30
III.2.2. HBT Herstellungsprozess .....	34
III.2.3. Mögliche Schwachstellen von HBTs.....	38
III.3. HBT Eigenschaften .....	40
III.3.1. DC Eigenschaften .....	40
<b>IV. Lebensdaueruntersuchungen</b> .....	<b>43</b>
IV.1. Messverfahren .....	43
IV.1.1. Bestimmung der Junction-Temperatur $T_J$ .....	44
IV.1.2. Der thermische Widerstand $R_{Th}$ .....	45
IV.1.2.1. Methode von Bovolon .....	47
IV.1.2.2. Einfluss von Substratdicke und Luftbrückendicke auf $R_{th}$ .....	52
IV.1.3. Alterungsbedingungen .....	54
IV.2. Messtechnik.....	57

IV.3.	Degradationsverlauf .....	63
IV.3.1.	Kurzzeitdegradation: Burn-in .....	64
IV.3.1.1.	Elektrische und thermische Einflüsse auf den Burn-in-Verlauf .....	66
IV.3.1.2.	Burn-in-Prozess in Abhängigkeit der Basisdotierung .....	69
IV.3.2.	Graduelle und katastrophale Degradation.....	70
IV.4.	Einfluss der Technologieparameter auf die HBT-Zuverlässigkeit .....	71
IV.4.1.	Substratmaterial .....	71
IV.4.2.	Einfluss der Epitaxie auf die Lebensdauer der HBTs .....	79
IV.5.	Bestimmung der mittleren HBT-Lebensdauer .....	82
<b>V.</b>	<b>Analytische Untersuchung degradierter HBTs .....</b>	<b>89</b>
V.1.	Rekombinationsbeschleunigte Defektreaktionen .....	90
V.2.	Elektrolumineszenz .....	93
V.3.	Transmissionselektronenmikroskop – TEM.....	99
V.3.1.	Fokussierte Ionenstrahlen – FIB .....	100
V.3.2.	TEM-Untersuchung der HBTs .....	102
V.3.3.	Defekte und Versetzungen.....	105
V.3.4.	Burgers-Vektor-Analyse.....	109
V.4.	Materialdiffusion .....	112
V.4.1.	Energiedispersive Röntgenspektroskopie – EDX .....	112
V.4.2.	Metalldiffusion in den Halbleiter.....	112
V.4.3.	Kohlenstoffpräzipitate .....	114
V.4.4.	Indium-Diffusion aus dem Emitter .....	116
V.5.	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	118
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>121</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>129</b>