

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
I. Einleitung.....	7
II. Bestimmung der Zuverlässigkeit von HBTs.....	11
II.1. Zuverlässigkeitsrechnung.....	12
II.1.1. Verteilungsfunktion.....	12
II.1.2. Zuverlässigkeitsfunktion.....	12
II.1.3. Dichtefunktion.....	14
II.1.4. Mittlere Lebensdauer – $MTTF$	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
III. Der Heteroübergang-Bipolartransistor (HBT).....	25
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
IV. Lebensdaueruntersuchungen.....	43
IV.1. Messverfahren.....	43
IV.1.1. Bestimmung der Junction-Temperatur T_J	44
IV.1.2. Der thermische Widerstand R_{Jh}	45
IV.1.2.1. Methode von Bovolon.....	47
IV.1.2.2. Einfluss von Substratdicke und Luftbrückendicke auf R_{Jh}	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
V. Analytische Untersuchung degradierter HBTs	89
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. Metaldiffusion in den Halbleiter	112
V.4.3. Kohlenstoffpräzipitate	114
V.4.4. Indium-Diffusion aus dem Emitter	116
V.5. Zusammenfassung der Ergebnisse	118
Literaturverzeichnis	121
Danksagung	129