

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Stand der Technik	2
1.2	Aufbau der Arbeit	3
1.3	Technologie- und Entwurfsumgebung	4
<b>2</b>	<b>Halbleiterspeicher</b>	<b>6</b>
2.1	Speichertypen	6
2.1.1	Übersicht	6
2.1.2	Eignung als nichtflüchtiger Analogwertspeicher	8
2.2	Programmiersmechanismen für Floating-Gate-Speicher	10
2.2.1	Tunneleffekte	11
2.2.2	Ladungsträger-Injektion	14
2.3	Floating-Gate-Speichertypen	15
2.3.1	FLOTOX-Speicherzelle	15
2.3.2	TPFG-Speicherzelle	16
2.3.3	SIMOS-Speicherzelle	17
2.3.4	Weitere Varianten	17
2.3.5	Auswahl	17
2.4	Kenngrößen der Datensicherheit in FG-Speicherelementen	18
2.4.1	Data Endurance	18
2.4.2	Data Retention	19
<b>3</b>	<b>Entwurf von Analogspeicherelementen</b>	<b>23</b>
3.1	Aufbau und Funktion digitaler Floating-Gate-Speicherelemente	24
3.1.1	Funktion	25
3.1.2	Varianten	26
3.1.3	Dimensionierung	27
3.2	Statische Sample & Hold-Schaltung durch Nutzung eines Floating-Gate-Transistors	29
3.2.1	Sample & Hold-Schaltung	30
3.2.2	Tunneloxidgekapazitäten als Schalter	31
3.2.3	Funktion der statischen Sample & Hold-Schaltung	32
3.2.4	Bestimmung der Fehlerterme	36
3.3	Layout	37

3.3.1	Grundelemente . . . . .	37
3.3.2	Bestimmung der Koppelfaktoren . . . . .	41
3.3.3	Überarbeitung des Entwurfs . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Messungen an Einzelbauelementen und Speicherzellen</b>	<b>48</b>
4.1	Aufbau des Messsystems . . . . .	49
4.2	Tunnelkapazitäten . . . . .	50
4.2.1	Tunnelstromkennlinien . . . . .	50
4.2.2	CU-Kennlinie einer Tunnelkapazität . . . . .	53
4.2.3	Untersuchung des Einflusses von Stress auf das Tunnelstromverhalten . . . . .	58
4.3	EEPROM-Zelle zur Analogwertspeicherung . . . . .	62
4.3.1	Programmierfenster in Abhängigkeit von $t_{PP}$ und $U_{PP}$ . . . . .	63
4.3.2	Untersuchung der Datenwechselstabilität . . . . .	66
4.4	Stabilität von Analogwertspeicherelementen . . . . .	67
4.4.1	Abhängigkeit der Genauigkeit vom Aufbau der FG-Struktur . . . . .	68
4.4.2	Abhängigkeit der Genauigkeit vom Speicherwert $U_F$ . . . . .	69
4.4.3	Abhängigkeit der Genauigkeit von der Speicherkapazität $C_S$ . . . . .	71
4.4.4	Abschätzung des Leckstroms $I_{leak}(U_F)$ . . . . .	72
4.4.5	Einfluss des Zellenaufbaus auf die Genauigkeit der Wertspeicherung . . . . .	73
4.5	Zusammenfassung . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Referenzspannungsquellen</b>	<b>78</b>
5.1	Spannungsreferenz nach Ahuja et al. . . . .	80
5.1.1	Aufbau und Funktionsweise . . . . .	80
5.1.2	Messergebnisse . . . . .	84
5.1.3	Zusammenfassung . . . . .	87
5.2	Spannungsreferenz unter Nutzung eines schaltbaren OPV . . . . .	88
5.2.1	Aufbau und Funktion . . . . .	88
5.2.2	Messergebnisse . . . . .	91
5.2.3	Zusammenfassung . . . . .	92
5.3	Untersuchung von geringen Leckströmen in Bauelementen . . . . .	95
5.3.1	Aufbau und Funktion . . . . .	96
5.3.2	Bestimmung der Betriebsbedingungen . . . . .	97
5.3.3	Messaufbau . . . . .	99
5.3.4	Ergebnisse der Untersuchung des Sperrstroms von Dioden . . . . .	100
5.3.5	Zusammenfassung . . . . .	105
<b>6</b>	<b>Selbstabgleichender Operationsverstärker</b>	<b>107</b>
6.1	Abgleich-Verfahren . . . . .	107
6.1.1	Chopper-Stabilisierung . . . . .	108
6.1.2	Autozeroing-Verfahren . . . . .	109
6.1.3	Statische Autozeroing-Verfahren . . . . .	110

6.2	Aufbau der Gesamtschaltung . . . . .	111
6.2.1	Aufbau des Hauptverstärkers $G_{m1}/R$ . . . . .	113
6.2.2	Abgleichstufe $G_{m2}$ . . . . .	115
6.2.3	Verlauf und Eigenschaften des Abgleichvorgangs . . . . .	118
6.3	Messergebnisse . . . . .	122
6.3.1	Eigenschaften des Hauptverstärkers $G_{m1}/R$ . . . . .	122
6.3.2	Eigenschaften des Abgleichvorgangs . . . . .	123
6.3.3	Lebensdauer . . . . .	127
6.4	Zusammenfassung des Entwurfs . . . . .	128
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>130</b>
<b>A</b>	<b>Spannungsbezeichnungen am Analogwertspeicherelement</b>	<b>133</b>
<b>B</b>	<b>Quelltext des VerilogA-Tunnelstrom-Modells</b>	<b>134</b>
<b>C</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchung der Einzelbauelemente</b>	<b>136</b>
C.1	Liste der Bauelemente auf den Testfeldern . . . . .	136
C.2	Tunnelstromkennlinien . . . . .	137
C.3	Tunneloxidkapazitäten . . . . .	138
C.4	Programmierfenstergröße . . . . .	139
<b>D</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchung des selbstabgleichenden Operationsverstärkers</b>	<b>140</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>141</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>156</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>158</b>
	<b>Symbole und Abkürzungen</b>	<b>159</b>