

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1 MOS Transistoren und analoge Schaltungen im Einsatz bis 4,2K	1
1.2 Ziele dieser Arbeit, Einordnung in frühere Arbeiten des IHT	2
2. Kryomikroelektronik: Stand der Technik	5
2.1 Anwendungen im Tieftemperaturbereich	5
2.2 Material und integrierte Bauelemente für tiefe Temperaturen	8
2.3 Handelsübliche Raumtemperatur CMOS OpAmps bei tiefen Temperaturen	9
2.4 Die THD CMOS-Prozesse	10
2.5 Bislang unbefriedigend gelöste Probleme	11
3. Der MOS Transistor von 300K bis 4K im Hinblick auf analoge Anwendungen	14
3.1 Der MOSFET bei 300K, eine Zusammenfassung	15
3.1.1 Starke Inversion	15
3.1.2 Unterschwellspannungsbereich	18
3.1.3 Sondereffekte	19
3.2 Erweiterungen für den Temperaturbereich von 300K bis 4K	25
3.2.1 Temperaturabhängigkeit der Parameter im Basismodell	25
3.2.2 Steilheit, Ausgangsleitwert, innere Verstärkung	36
3.3 Besondere Merkmale bei 4K	37
3.3.1 Substratwiderstand, Substratstrom und Current-Kink	38
3.3.2 Diskussion	42
3.4 Auswertung der neuen Modellfunktion von 300K bis 4K	43

3.4.1	Parameteranpassung für 300K	44
3.4.2	Parameteranpassung für 4K	45
3.4.3	Makromodell für die PSPICE Simulation	47
4.	Rauschen des MOSFET: Grundlagen, Temperaturabhängigkeit und Schaltungstechnik	48
4.1	Kenngößen elektrischer Rauschvorgänge	48
4.2	Die Rauschquellen des MOSFET	50
4.2.1	Weißes oder thermisches Rauschen	50
4.2.2	Funkel- oder 1/f-Rauschen	52
4.2.3	Rauschen von 300K bis 4K	56
4.3	Rauschanalyse der Grundsaltungen	59
4.3.1	Verstärkerkonzeption	59
4.3.2	Rauschanalyse einer Eingangsstufe	61
4.3.3	Rauschanalyse eines Differenzverstärkers	64
4.3.4	Vergleich des Differenzverstärkers mit dem einfachen Verstärker	66
5.	Rauschmessungen an MOSFETs zwischen 300K und 4K	67
5.1	Die Versuchsanordnung	67
5.1.1	Der Meßplatz	67
5.1.2	Die Umgebung zur Versuchsauswertung	70
5.2	Rauschmessungen an MOSFETs 300K-4K, schwache bis starke Inversion	73
5.2.1	Untersuchte Transistoren	73
5.2.2	Messungen, Ergebnisse	73
5.3	Diskussion	81
6.	Schaltkreisentwicklung und Meßergebnisse von Analog-Grundsaltungen für 4K	83
6.1	Überlegungen zur Auswahl der Bauelemente	83
6.2	Ein Verstärkertestchip	85
6.2.1	Vorüberlegungen	86
6.2.2	Verstärker 1 (NDV)	86
6.2.3	Verstärker 2 (PDV)	89

6.2.4	Verstärker 3 (NOTA)	89
6.2.5	Verstärker 4 (POTA)	91
6.2.6	Verstärker 5 (NDC)	92
6.2.7	Verstärker 6 (DCL)	93
6.2.8	Weitere Strukturen	95
6.3	Meßergebnisse 300K – 4K	97
6.3.1	NDV	98
6.3.2	PDV	103
6.3.3	POTA	105
6.3.4	NDC	110
6.3.5	DCL	114
6.4	Diskussion	118
6.4.1	Fazit für 300K bis 4K	118
6.4.2	Erwärmung der Chipoberfläche durch Verlustleistung	120
7.	Prozeßoptimierung und Bauelementmodellierung für 4K	122
7.1	Technologie abgestufter Drainstrukturen	123
7.2	Analyse abgestufter Drainstrukturen	125
7.3	Verwendung bei 4K	130
7.4	Auswirkung der DDD Struktur auf den Current Kink	131
7.5	Prozeßführung für eine Tieftemperatur DDD	131
8.	Fortgeschrittene rauscharme Analogschaltungstechnik für 4K	136
8.1	Vorschläge zur Verbesserung der Grundsaltungen	136
8.1.1	Einfache schaltungstechnische Maßnahmen	136
8.1.2	Unterdrückung des 1/f-Rauschens mittels getakteter Schaltungs- technik	137
8.1.3	Elimination von Offset und Drift durch zusätzlichen Fehlerverstärker	141
8.2	Das IHT Analog/Digital-Transistorarray für Forschung und Lehre	142
8.3	Semi-Custom Entwurf für das Analog/Digital-Transistorarray	144
8.3.1	Chopper Verstärker	145
8.4	Full-Custom Multi-Projekt-Chip	149

8.4.1	Chopper Instrumentierungsverstärker für Experimente in der Supra- leitungsphysik	149
8.4.2	Ein drift- und offsetarmer OpAmp mit skaliertem Fehlerverstärker .	152
8.4.3	Layout des Verstärkerchips	156
9.	Zusammenfassung und Ausblick	159
9.1	Die Ergebnisse der Arbeit	159
9.2	Ausblick	161
A.	Parameterextraktion für die THD-CMOS Prozesse	162
A.1	Parameteranpassung durch nicht-linearen Fit (LMA)	162
A.2	Die SPICE-Parameter der THD-CMOS-Prozesse	164
B.	Das 1/f-Rauschen in schwacher und starker Inversion	166
C.	Die abgeschirmte Vorverstärkereinheit für Rauschmessungen	171
C.1	Anordnung zur Rauschmessung von MOSFETs	171
C.2	Anordnung zur Rauschmessung von Operationsverstärkern	173
C.3	Zusätzliche Vorkehrungen gegen Störeinstrahlungen	174
C.4	Beitrag des Meßaufbaus zum Gesamtrauschen	174
	Betreute Studien- und Diplomarbeiten	176
	Veröffentlichungen und Vorträge	178
	Literaturverzeichnis	179