

OBSAH

ÚVOD	2
OBSAH	4
1. ELEKTRONICKÉ A MIKROELEKTRONICKÉ SENZORY	8
1.2 Technologie používané při výrobě senzorů	8
1.3 Výroba a prodej senzorů	8
1.4 Orientační přehled aplikací senzorů	9
1.5 Rozdělení senzorů	10
1.5.1 Integrace v křemíku	11
1.6 Klasifikace senzorových signálů	12
1.7 Kritéria pro výběr vhodných senzorů	13
2. CHEMICKÉ SENZORY	15
2.1 Senzory se změnou vodivosti	16
2.2 Tenkovrstvové senzory	16
2.3 Senzory se změnou teploty	17
2.4 Optovláknové senzory	18
2.5 MOS tranzistor jako senzor pro detekci plynů	19
2.5.1 Typy tranzistorů MOSFET používaných jako senzory pro detekci plynů	19
2.5.2 Modifikované struktury MOS používané jako senzory jiných fyzikálních veličin	21
3. POLOVODIČOVÉ SENZORY SÍLY A TLAKU	23
3.1 Piezodoporové senzory	24
3.1.1 Zpracování signálu v piezodoporových tlakových senzorech	28
3.1.2 Teplotní kompenzace teplotně závislou tenkou vrstvou	34
3.1.3 Piezodoporový efekt v MOS struktuře	35
3.2 Senzory s mechanickou rezonancí materiálu	35
3.2.1 Tlakový senzor s integrovaným rezonančním tenzometrem na křemíkové membráně	37
3.3 Kapacitní senzory tlaku	39
3.3.1 Polovodičové kapacitní tlakové senzory	39
3.3.1.1 Kruhová struktura	42
3.3.1.2 Čtvercová struktura	44
3.3.1.3 Prstencová struktura	45
3.3.1.4 Dvojprstencová struktura	45
3.3.2 Obvody pro vyhodnocování změn kapacity kapacitních tlakových senzorů	46
3.3.3 FET jako senzor tlaku - PSIGFET	50
3.4 Senzory tlaku s přechodem p-n	53
3.5 Využití tlakových senzorů pro měření dalších fyzikálních veličin	54
4. TEPLOTNÍ SENZORY	56
4.1 Odporové kovové teploměry	57
4.1.1 Realizace senzorů	58
4.1.2 Vyhodnocování informace z odporových kovových senzorů	58
4.1.3 Připojování senzoru k vyhodnocovacímu obvodu	58
4.2 Odporové polovodičové senzory teploty	60
4.2.1 Termistory	60

4.2.2	Vyhodnocování informace a linearizace teplotních odporových senzorů	62
4.2.3	Můstkový zesilovač pro odporové senzory	63
4.3	Polovodičové senzory využívající odporu šíření	64
4.4	Tenkvrstvé teplotní senzory	67
4.4.1	Tenkvrstvý Pt senzor	67
4.4.2	Tenkvrstvý SiC senzor	67
4.4.3	Tenkvrstvé teplotní polykrystalické Si senzory	68
4.5	Teplotní senzory s p-n přechodem	69
4.5.1	Tranzistor jako teplotní senzor	71
4.5.1.1	Využití teplotní závislosti zbytkových proudů tranzistoru	72
4.5.2	Zenerova dioda jako senzor teploty	72
4.5.3	Vyhodnocování informace z teplotních senzorů	73
4.6	Integrované teplotní senzory	75
4.6.1	Integrovaný tranzistorový senzor jako převodník R/I	75
4.6.2	Teplotní senzor s CMOS tranzistory pracujícími v oblasti silné inverze ...	76
4.6.3	Teplotní senzor s CMOS tranzistory pracujícími v oblasti slabé inverze ...	76
4.6.4	Teplotní senzor CMOS s p-n přechodem	78
4.6.4.1	Bipolární laterální tranzistor kompatibilní s CMOS jako teplotní senzor	78
4.6.5	Termoelektrický teplotní senzor	80
4.6.5.1	Termoelektrický senzor záření	81
4.6.5.2	Integrované termoelektrické články	82
4.6.5.3	Termočlánky pro indikaci záření	83
4.6.6	Bolometrické senzory	84
4.6.6.1	Širokopásmový bolometr pro infračervené záření	85
4.6.7	Teplotní krystalový senzor	86
4.6.8	Magnetické teplotní senzory	87
4.7	Teplotní senzory pro velmi nízké teploty	88
4.7.1	Termoelektrické články	89
4.7.2	Odporové kovové teploměry	89
4.7.3	Kapacitní teplotní senzory	90
4.7.4	Indukční princip senzorů pro nízké teploty	90
4.7.5	Šumový teplotní senzor	90
4.7.6	P-N přechod	90
4.8	Jiné typy teplotních senzorů	92
4.8.1	Ultrazvukový teplotní senzor	92
4.8.2	Teplotní senzory s povrchově-akustickou vlnou (SAW)	94
4.9	Teplotní senzorové systémy	96
4.9.1	Integrované teplotní oscilátory	96
4.9.1.1	Převodníky	97
4.9.1.1.1	Samokmitající teplotní oscilátor s kladnou zpětnou vazbou	97
4.9.1.1.2	Teplotní oscilátor s kladnou zpětnou vazbou synchronizovanou externími hodinami	99
4.9.1.1.3	Sigma-delta teplotní modulátor	99
5.	SENZORY VLHKOSTI	100
5.1	Vodivostní senzor vlhkosti	100
5.1.1	Senzor vlhkosti HS 71	100
5.2	Kapacitní senzor vlhkosti	102
5.3	Senzory vlhkosti pro pevné látky	102
5.4	Senzor vlhkosti s teplotní informací a frekvenčním výstupním signálem	103

5.4.2	Ekvivalentní elektrický obvod senzoru vlhkosti	104
5.5	Integrovaný kapacitní senzor vlhkosti	105
5.5.1	Vyhodnocovací obvody pro senzor vlhkosti	106
5.6	Integrovaný systém s kapacitním senzorem vlhkosti	107
5.6.1	Zapojení sensorového systému	107
6.	MĚŘENÍ PRŮTOKU A RYCHLOSTI PROUDĚNÍ KAPALIN A PLYNŮ	110
6.1	Metoda ochlazování "vyhříváných" termoodporů	110
6.1.1	Průtokoměry s ochlazovacím principem	111
6.1.1.1	Přímo vyhříváný termistor pro měření malých průtoků v mikrokanálech ...	112
6.1.1.1.1	Vyhodnocovací obvod	113
6.1.1.2	Termistorový průtokoměr a měřič rychlostí proudění s dvojnásobnou teplotní kompenzací	115
6.1.3	Průtokoměr s řízeným příkonem ohřevu termoodporu	117
6.1.3.1	Použití průtokoměru s řízeným příkonem ohřevu	118
6.1.4	CMOS průtokový senzor s konstantní teplotou čipu (CCT)	120
6.1.5	Princip s konstantním poměrem napájecího napětí a proudu s teplotním přednastavením	122
6.1.6	Diferenciální teploměr s diodovými senzory pro měření průtoku plynu - anemometr	124
6.1.7	Jednoduchý anemometr s termistorem	125
6.1.8	Průtokoměr s vnitřním ohřevem tekutiny	126
6.1.8.1	Průtokoměry s teplotním profilem	127
6.2	Průtokoměry s rezonančními strukturami	128
6.3	Oscilátorová uspořádání průtokoměrů	129
6.3.1	Průtokoměr s fluidickým oscilátorem	129
6.3.2	Vírové snímače průtoku	132
6.4	Průtokoměr s injekční tryskou	133
7.	SENZORY PRO MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY KAPALIN A SYPKÝCH HMOT	136
7.1	Diskrétní senzory	136
7.2	Senzory pro kontinuální měření	136
7.3	Měření výšky hladiny pomocí sonaru	137
8.	SENZORY S POVRCHOVĚ AKUSTICKOU VLNOU (SAW)	139
8.1	Tlakové senzory SAW	140
8.2	Teplotní senzor SAW	141
8.3	Senzor síly s SAW	142
8.4	Chemické senzory SAW	143
9.	SENZORY ZÁŘENÍ	145
9.1	Neionizující elektromagnetické záření	145
9.2	Ionizující záření	145
9.2.1	Kontaminace životního prostředí radioaktivním zářením	145
9.2.2	Transport, depozice a cirkulace radionuklidů	146
10.	OPTICKÉ VLÁKNOVÉ SENZORY	147
11.	ZPRACOVÁNÍ SENZOROVÝCH SIGNÁLŮ	149
11.1	Obvody pro vyhodnocování odporových změn	149

11.1.1 Můstkový zesilovač	150
11.1.2 Modifikovaná zapojení můstkových zesilovačů	151
11.2 Obvody pro vyhodnocování kapacitních změn	154
11.3 Senzory s digitálním a frekvenčním výstupem	157
11.3.1 Sensorové principy s přesným frekvenčním výstupem	158
11.3.1.1 Rezonátorové struktury	158
11.3.1.2 Sensorové systémy založené na geometrických periodických strukturách	159
11.3.2 Senzory s frekvenčním výstupem založené na oscilátorech	160
11.3.2.1 Převodník I/f	160
11.3.2.2 Oscilátory s obdélníkovým průběhem	160
11.3.2.3 Kruhové oscilátory	161
11.3.2.4 Výstupní signál ve tvaru poměru frekvencí	162
11.3.3 Stochastické A/D převodníky	162
11.3.4 Sensorové systémy se spínacími kapacitami	162
12. SMART SENZORY (inteligentní převodníky)	164
12.1 Požadavek jednočipového zpracování signálu	164
12.2 Požadavky na "stavební bloky" integrovaného sensorového systému	165
12.3 Sensorové sběrnice	168
12.4 Sestava SMART senzoru	169
12.5 SMART senzor pro měření teploty	170
12.6 Trendy ve vývoji SMART senzorů	172
Literatura	174