

Obsah

Předmluva	1
1 Úvod	3
1.1 Elektromagnetické spektrum	3
1.2 Informační okna	4
1.2.1 Optická vlákna	4
1.3 Radiometrie	5
1.3.1 Přehled pojmů a veličin	6
1.4 Zákony vyzařování	8
1.5 Šíření mezi zdrojem a detektorem	9
1.6 Polovodiče	11
1.6.1 Přímý a nepřímý zakázaný pás	13
1.7 Základní obecné vlastnosti detektoru	15
1.7.1 Kvantová účinnost η	15
1.7.2 Citlivost \mathcal{R}	16
1.7.3 Doba odezvy	16
2 Zdroje světla	19
2.1 Kde se bere světlo	19
2.1.1 Tepelné záření	19
2.1.2 Luminiscenční zdroje	20
2.1.3 Ostatní zdroje záření	21
2.2 Lasery	21
2.2.1 Pevnolátkové lasery	22
2.2.2 Plynové lasery	22
2.3 Elektroluminiscence v polovodičích	24
2.3.1 LED	25
2.3.2 Superluminiscenční dioda	26
2.3.3 Laserová dioda	26

3	Rozdělení typů detektorů světla	29
3.1	Fotonové detektory	29
3.1.1	Fotoefekt	29
3.2	Lidské oko	30
3.3	Fotografie	32
3.3.1	Princip	33
3.3.2	Spektrální odezva	33
3.3.3	Intenzitní odezva	34
3.3.4	Vlastnosti	35
3.3.5	Barevná fotografie	35
3.4	Termální detektory	36
3.4.1	Popis měření s termálním detektorem	36
3.4.2	Parametry termálních detektorů	37
3.4.3	Termoelektrický efekt	38
3.5	Koherentní detektory	38
3.5.1	Heterodynní detekce	39
3.5.2	Homodynní detekce	40
3.5.3	Měření kvadratur	41
4	Vnitřní fotoelektrický jev	43
4.1	Fotorezistory	43
4.1.1	Čisté polovodiče – vlastní, nedopované, intrinsické	44
4.1.2	Příměsové polovodiče – nevlastní, dopované, extrinsické	46
4.1.3	Heterostruktury	47
4.1.4	Technické parametry komerčních fotorezistorů	48
4.2	Fotodiody	48
4.2.1	p-n fotodiody	48
4.2.2	Doba odezvy p-n fotodiody	50
4.2.3	Elektrické zapojení a VA charakteristika fotodiody	50
4.2.4	PIN fotodiody	52
4.2.5	Heterostruktury	53
4.3	Lavinová fotodioda – APD	54
4.3.1	Vylepšená konstrukce lavinové fotodiody – SAM APD	55
4.4	Jednofotonové APD (APD v Geigerově módu)	57
5	Šum fotodetektorů	59
5.1	Kategorie šumu	59
5.1.1	Veličiny popisující šum	60

5.2	Fotonový šum	61
5.3	Fotoelektronový šum	61
5.4	Šum fotoproudu	62
5.5	Šum zisku	63
5.5.1	Faktor zvýšení šumu pro lavinovou fotodiodu APD	63
5.6	Obvodový šum	65
5.6.1	Bezrozměrný parametr obvodového šumu	65
5.7	Poměr signálu k šumu	66
5.7.1	Minimální počet fotoelektronů	67
5.8	Chybovost digitálního přenosu	67
6	Vnější fotoelektrický jev	69
6.1	Historický přehled	69
6.2	Struktura fotonásobiče	70
6.2.1	Materiály okénka	70
6.2.2	Fotokatoda	71
6.2.3	Materiály fotokatod	72
6.2.4	Elektronové násobení a dynody	73
6.2.5	Periferie (elektronika a kryt)	74
6.3	Výběr fotonásobiče	74
6.3.1	Režim činnosti fotonásobiče a elektrické obvody	75
6.4	Vlastnosti fotonásobičů	76
6.5	Šum fotonásobiče	78
6.5.1	Poměr signál k šumu	80
6.5.2	Afterpulsing	80
6.6	Novodobé konstrukce fotonásobiče	81
6.6.1	Pozičně citlivé fotonásobiče s jednofotonovou citlivostí	82
7	Kamery CCD a CMOS	85
7.1	Úvod a terminologie	85
7.1.1	Metody snímání obrazu	86
7.2	Vývoj polovodičových plošných detektorů	86
7.3	Konstrukce CCD a CMOS	87
7.3.1	Princip činnosti CCD a CMOS	88
7.3.2	Digitální kamery	88
7.4	Vlastnosti plošných detektorů	89
7.4.1	Proces detekce	89
7.4.2	Šum plošných detektorů	90

7.4.3	Prostorové rozlišení	91
7.5	Základní architektury plošných CCD	93
7.5.1	Full-Frame transfer (FF)	93
7.5.2	Frame-Transfer (FT)	94
7.5.3	Interline transfer (IL)	95
7.6	Techniky přenosu náboje a vyčítání obrazu ze CCD	95
7.6.1	Pět metod vyčítání obrazu	96
7.6.2	Konverze náboje na napětí	98
7.7	Další technologie pro CCD	98
7.7.1	Ochranné odtokové kanálky	98
7.7.2	Používané kombinace konstrukčních prvků	99
7.7.3	Vady CCD čipů	99
7.8	Barevné snímání	101
7.8.1	Technologie záznamu barev	101
7.9	Porovnání CCD a CMOS	102
7.10	Vědecké CCD kamery iKon od firmy Andor	103
7.11	Spektrometr	104
8	Plošné jednofotonové detektory	107
8.1	EM-CCD – kamera s elektronovou multiplikací	107
8.1.1	Elektronová multiplikace	108
8.1.2	Čítání fotonů	108
8.1.3	Šum EM-CCD	109
8.2	Intenzifikátor obrazu	111
8.3	iCCD – intenzifikovaná CCD kamera	111
8.3.1	Prostorové rozlišení	113
8.3.2	Popis iCCD kamer různých výrobců	113
8.4	Rozmítací kamera	113
8.5	Porovnání šumu CCD, EM-CCD a iCCD	115
9	Kvantové detektory	117
9.1	Detektory pro kvantovou informatiku	117
9.2	Vlastnosti kvantových detektorů	118
9.2.1	Mrtvá doba τ_d (<i>Dead time</i>)	118
9.2.2	Následné pulzy (<i>Afterpulses</i>)	118
9.2.3	Temné detekce D (<i>Dark counts</i>)	118
9.2.4	Časová nejistota vzniku proudového pulzu Δt (<i>Timing jitter</i>)	119
9.2.5	Kvantová účinnost η (<i>Quantum efficiency</i>)	119

9.2.6	Rozlišení v počtu fotonů (<i>Photon counting</i>)	119
9.3	Hodnocení kvality detektoru	120
9.3.1	Metody měření kvantové účinnosti	120
9.4	Přehled fotonových detektorů	121
9.4.1	Lavinová fotodioda v Geigerově módu	122
9.4.2	APD s upkonverzí (<i>APD using up-conversion</i>)	123
9.4.3	Speciální fotonásobič	123
9.4.4	Hybridní fotodetektor HPD	124
9.4.5	Fotonový čítač viditelného záření VLPC	125
9.4.6	Mikrokalorimetr na hraně supravodivosti TES	126
9.4.7	Supravodivá nanovlákná	127
9.4.8	Mrak atomů AV	127
9.4.9	Další možnosti	128
9.5	Detektory s multiplexací	129
9.5.1	Vláknové zpožďovací smyčky	129
9.5.2	Vyvážený vláknový multiplexer	130
9.5.3	Masivně multikanálový detektor	131
9.5.4	Matice lavinových fotodiod	132
9.6	Porovnání jednofotonových detektorů	132
	Literatura	134
	Seznam použitých symbolů	136
	Symbole v latince	136
	Symbole v řecké abecedě	138