

Spis treści

Przedmowa	11
Wykaz ważniejszych oznaczeń	15
Wykaz ważniejszych skrótów	19
1. Radiometria	23
1.1. Wstęp	23
1.2. Wielkości radiometryczne	27
1.3. Luminancja	33
1.4. Promieniowanie ciała doskonale czarnego	37
1.4.1. Prawo Plancka	39
1.4.2. Prawo Stefana-Boltzmann	43
1.4.3. Prawo przesunięć Wiena	45
1.4.4. Kontrast egzytancji	45
1.5. Emisyjność	47
1.5.1. Prawo Kirchhoffa	48
1.6. Radiometryczne pomiary temperatury	50
1.6.1. Temperatura promieniowania	51
1.6.2. Temperatura egzytancyjna	52
1.6.3. Temperatura barwy	53
1.7. Propagacja promieniowania optycznego	53
1.7.1. Propagacja promieniowania optycznego przez atmosferę ..	54
1.7.2. Transmisja materiałów optycznych	55
Bibliografia do rozdziału pierwszego	58
2. Kryteria oceny detektorów	59
2.1. Wprowadzenie	59
2.2. Parametry detektorów	62
2.3. Osiągi detektorów ograniczone szumem fotonowym	67
2.4. Pomiary parametrów detektorów	76
2.4.1. Pomiar czułości	76

2.4.2.	Pomiar szumów.	81
2.4.3.	Pomiar charakterystyki częstotliwościowej mocy równoważnej szumom.	86
2.4.4.	Pomiar charakterystyk częstotliwościowych	87
2.4.5.	Pomiar czasu narastania i opadania odpowiedzi detektora	89
	Bibliografia do rozdziału drugiego	90
3.	Źródła szumu.	92
3.1.	Wprowadzenie	92
3.2.	Szumy detektora.	96
3.2.1.	Szum fotonowy	97
3.2.2.	Szum cieplny.	100
3.2.3.	Szum generacyjno-rekombinacyjny.	102
3.2.4.	Szum śrutowy	104
3.2.5.	Szumy $1/f$	106
3.2.6.	Szum temperaturowy.	107
3.2.7.	Szum mikrofonowy.	108
3.2.8.	Szum wybuchowy.	109
	Bibliografia do rozdziału trzeciego	110
4.	Podstawy fizyczne detekcji promieniowania optycznego	112
4.1.	Wstęp.	112
4.2.	Klasyfikacja detektorów.	115
4.3.	Podstawy fizyczne działania detektorów termicznych	122
4.3.1.	Termopary.	126
4.3.2.	Bolometry	128
4.3.3.	Detektory piroelektryczne	131
4.4.	Podstawy fizyczne działania detektorów fotonowych.	136
4.4.1.	Absorpcja promieniowania	137
4.4.2.	Sprzężenie promieniowania z detektorem	142
4.4.3.	Mechanizmy generacyjno-rekombinacyjne	144
4.5.	Fotorezystory	150
4.6.	Detektory fotowoltaiczne	155
4.6.1.	Fotodiody ze złączem $p-n$	156
4.6.2.	Realne fotodiody.	160
4.7.	Szybkość odpowiedzi.	167
4.8.	Fotodiody ze złączem Schottky'ego.	168
4.9.	Detektory fotoemisyjne	174
4.10.	Fotodiody $p-i-n$	177
4.11.	Fotodiody lawinowe.	182
4.12.	Detektory barierowe.	190
	Bibliografia do rozdziału czwartego	196

5. Detektory termiczne	199
5.1. Wstęp	199
5.2. Osiągi detektorów termicznych	200
5.3. Termopary	204
5.3.1. Materiały termoelektryczne	206
5.3.2. Technologia i właściwości termopar	209
5.4. Bolometry	212
5.4.1. Bolometry metalowe	214
5.4.2. Termistory	216
5.4.3. Bolometry niskotemperaturowe	218
5.4.4. Bolometry kompozytowe	220
5.4.5. Mikrobolometry krzemowe	221
5.4.6. Bolometry nadprzewodzące	228
5.5. Detektory piroelektryczne	233
5.5.1. Czułość	233
5.5.2. Szum i wykrywalność	236
5.5.3. Wybór materiału detektora	240
5.5.4. Bolometr dielektryczny	243
5.5.5. Detektory piroelektryczne wielobarwne	246
Bibliografia do rozdziału piątego	249
6. Detektory fotoemisyjne	252
6.1. Wprowadzenie	252
6.2. Konwencjonalne fotokatody	253
6.3. Fotokatody z ujemnym powinowactwem elektronowym	258
6.4. Fotopowielacze	260
6.5. Wzmacniacze obrazu	267
6.6. Fotoemisyjne detektory krzemowe z barierą Schottky'ego	273
Bibliografia do rozdziału szóstego	277
7. Detektory fotonowe	278
7.1. Wprowadzenie	278
7.2. Detektory promieniowania X i promieniowania γ	283
7.3. Detektory promieniowania nadfioletowego	293
7.4. Fotodetektory zakresu widzialnego	301
7.5. Fotodiody germanowe	305
7.6. Fotodiody z InGaAs	308
7.7. Fotodiody z antymonków grupy $A^{III}B^V$	311
7.8. Fotorezystory z chalcogenidków ołowiu	317
7.9. Fotodetektory z HgCdTe	320
7.9.1. Fotorezystory	320
7.9.2. Fotodiody	328
7.9.3. Fotodiody lawinowe	333

7.10. Fotorezystory domieszkowe	337
Bibliografia do rozdziału siódmego	343
8. Detektory z supersieci, studni i kropek kwantowych	346
8.1. Wprowadzenie	346
8.2. Fotodiody lawinowe z supersiecią	351
8.3. Detektory na studniach kwantowych AlGaAs/GaAs.	353
8.4. Detektory z supersieci A ^{III} B ^V drugiego rodzaju.	360
8.4.1. Podstawowe właściwości fizyczne supersieci drugiego rodzaju	361
8.4.2. Konfiguracje supersieci drugiego rodzaju	366
8.4.3. Fotodiody <i>p-i-n</i>	368
8.4.4. Detektory barierowe	371
8.5. Detektory z kropek kwantowych	376
8.6. Fotodetektory kaskadowe	381
Bibliografia do rozdziału ósmego	386
9. Detektory z materiałów dwuwymiarowych	388
9.1. Podstawowe właściwości fizyczne grafenu.	388
9.2. Detektory grafenowe	392
9.3. Fotodetektory z alternatywnych materiałów dwuwymiarowych	400
9.4. Podsumowanie.	405
Bibliografia do rozdziału dziewiątego.	405
10. Detektory terahercowe	407
10.1. Detektory do zobrazowania terahercowego pracujące w temperaturze pokojowej	409
10.1.1. Diody Schottky'ego.	412
10.1.2. Detektory z tranzystorów FET i CMOS.	414
10.1.3. Mikrobolometry	417
10.2. Bolometry półprzewodnikowe	419
10.3. Nadprzewodzące detektory fotonowe.	421
10.4. Nadprzewodzące detektory HEB i TES	422
Bibliografia do rozdziału dziesiątego	426
11. Przedwzmacniacze do detektorów promieniowania optycznego.	429
11.1. Wymagania dotyczące parametrów przedwzmacniaczy stosowanych w fotoodbiornikach	429
11.2. Dobór aktywnych elementów wzmacniających	430
11.3. Przedwzmacniacze napięciowe	438
11.4. Przedwzmacniacze transimpedancyjne.	443
11.5. Stopnie wejściowe fotoodbiorników z detektorami fotoprzewodzącymi	447

11.6. Stopnie wejściowe fotoodbiorników z fotodiodami	455
11.6.1. Wybrane metody zwiększenia szerokości pasma w stopniach wejściowych fotoodbiorników ze wzmacniaczami transimpedancyjnymi	459
11.6.2. Przedwzmacniacze ładunkowe	463
11.7. Przedwzmacniacze do termopar	466
11.8. Przedwzmacniacze do detektorów piroelektrycznych	469
11.9. Przedwzmacniacze do fotopowielaczy	473
11.10. Fotoodbiorniki monolityczne i hybrydowe	477
11.11. Liczniki fotonów	478
Bibliografia do rozdziału jedenastego	484
12. Modele szumowe stopni wejściowych fotoodbiorników	487
12.1. Wstęp	487
12.2. Szумы w fotoodbiorniku ze wzmacniaczem napięciowym	488
12.3. Szумы w fotoodbiorniku ze wzmacniaczem transimpedancyjnym	490
12.4. Szумы stopnia wejściowego fotoodbiornika z przedwzmacniaczem ładunkowym	495
12.5. Odbiorniki z fotodiodami $p-n$ i $p-i-n$	496
12.5.1. Stosunek sygnału do szumu. Ograniczenia kwantowe i termiczne	497
12.5.2. Wpływ rezystancji obciążenia na stosunek sygnału do szumu	499
12.5.3. Wpływ pojemności równoległych na stosunek sygnału do szumu	500
12.6. Odbiorniki z fotodiodami lawinowymi	501
Bibliografia do rozdziału dwunastego	507
13. Matryce detektorów	509
13.1. Wstęp	509
13.2. Mozaiki liniowe	512
13.3. Układy z opóźnieniem czasowym	513
13.4. Mozaiki detektorów z obróbką sygnału w płaszczyźnie obrazowej	515
13.4.1. Matryce monolityczne	516
13.4.2. Matryce hybrydowe	518
13.5. Podstawowe parametry matryc detektorów	521
13.5.1. Natężenie napromienienia równoważne szumom (NEI)	521
13.5.2. Różnica temperatury równoważna szumom (NETD)	522
13.5.3. Minimalna rozróżnialna różnica temperatury (MRTD)	524
13.5.4. Funkcja przenoszenia modulacji (MTF)	525
13.5.5. Inne parametry	529

13.6. Przetworniki obrazu CCD	531
13.6.1. Wprowadzenie	531
13.6.2. Mechanizm działania CCD	531
13.6.3. Rodzaje przyrządów CCD	536
13.6.4. Techniki odczytu sygnału stosowane w matrycach CCD ..	541
13.6.5. Architektura układów odczytu	546
13.7. Przetworniki obrazu CMOS	555
13.7.1. Wiadomości wstępne	555
13.7.2. Rodzaje pikseli	558
13.7.3. Układy odczytu sygnału w przetwornikach CMOS	563
13.7.4. Architektura układów odczytu przetworników CMOS ..	574
Bibliografia do rozdziału trzynastego	578
14. Wybrane zagadnienia matryc detektorów	581
14.1. Zintegrowany zestaw detektora	582
14.2. Przetworniki CCD i CMOS	587
14.2.1. Przetworniki CCD	588
14.2.2. Przetworniki CMOS	594
14.3. Osiągi matryc detektorów podczerwieni	598
14.4. Matryce bolometryczne	607
14.5. Fotonowe matryce detektorów podczerwieni	615
14.5.1. Matryce detektorów z InGaAs	616
14.5.2. Matryce detektorów z InSb	621
14.5.3. Matryce detektorów barierowych z InAsSb	624
14.5.4. Matryce detektorów z HgCdTe	625
14.5.5. Matryce QWIP	631
14.5.6. Matryce detektorów z supersieci II typu	633
14.5.7. Matryce detektorów z półprzewodników domieszkowanych	636
Bibliografia do rozdziału czternastego	638
15. Zaawansowane metody detekcji sygnałów optycznych	642
15.1. Detekcja wolnozmiennych sygnałów optycznych poprzez całkowanie sygnału	642
15.2. Wzmacniacze selektywne	646
15.3. Detekcja fazoczuła	649
15.4. Układy detekcji z synchronicznym całkowaniem sygnału	664
15.5. Detekcja koherentna	677
15.5.1. Detekcja heterodynowa	680
15.5.2. Detekcja homodynowa	686
15.5.3. Wymagania i trudności odbioru koherentnego	689
Bibliografia do rozdziału piętnastego	691
O autorach	693
Skorowidz	695