

Klaus H. Herrmann

Der Photoeffekt

Grundlagen der Strahlungsmessung

Mit zahlreichen Abbildungen und Diagrammen



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Photoeffekte	1
1.1	Historischer Rückblick: Die grundlegenden Aussagen	1
1.1.1	Lichtelektrische Wirkungen	1
1.1.2	Einsteinsche Gleichung und lichtelektrische Gerade	3
1.2	Der äußere Photoeffekt und der Welle-Teilchen-Dualismus des Lichtes	5
1.3	Der Photoeffekt als Methode zur Strahlungsmessung	7
1.4	Die Entwicklung der Kenntnisse zum inneren Photoeffekt	10
1.5	Zeittafel zum Photoeffekt und zu seinen Anwendungen	12
2	Äußerer Photoeffekt	13
2.1	Grundlegende Modellvorstellungen	13
2.1.1	Die spektrale Quantenausbeute	15
2.1.2	Die Austrittsarbeit von Festkörpern	18
2.1.3	Elemente der Elektronentheorie von Festkörpern	22
2.1.4	Spicers Theorie der Photoemission	26
2.1.5	Die Zeitdauer der Photoemission	27
2.2	Photoemission von Metallen	29
2.3	Photoemission von Halbleitern und Dielektrika	35
2.4	Photoemission spinpolarisierter Elektronen	46
2.5	Dunkelstrom und Rauschen beim äußeren Photoeffekt	50
3	Innerer Photoeffekt	54
3.1	Grundlegende Modellvorstellungen	54
3.2	Photoeffekte der Majoritäts- bzw. Minoritätsträger	65
3.2.1	Photoleitfähigkeit	65
3.2.2	Dembereffekt	72
3.2.3	Photoelektromagnetischer Effekt	72
3.2.4	Photoeffekt am pn -Übergang (Photodiode)	75
3.2.5	Andere Raumladungsstrukturen	83
3.3	Der innere Photoeffekt und die Physik der Rekombinationsprozesse .	87
3.3.1	Strahlende Band-Band-Rekombination	89
3.3.2	Dynamisches Gleichgewicht und Generations-Rekombinations-Rauschen	90
3.3.3	Augerrekombination	92
3.3.4	Rekombination über Zentren	95
3.3.5	Strahlende Rekombination über Störstellen und von Excitonen	100
3.4	Der Grenzfall kleiner Quantenenergien	103
3.4.1	Signalempfindlichkeit und rauschbezogene Empfindlichkeit . .	104
3.4.2	Das Rauschen von Photodioden unterschiedlicher Energielücke	106
3.4.3	Einfluß des thermischen Strahlungshintergrunds – BLIP . . .	107
3.4.4	Detektivität eines Störstellen-Photoleiters	111

3.4.5	Extremfälle des Hintergrundeinflusses	112
3.4.6	Herabsetzung der Augerrekombination	116
3.5	Nichtgleichgewichtsverteilungen beim inneren Photoeffekt	117
3.6	Der innere Photoeffekt und der Impuls der Lichtquanten	125
3.7	Photoeffekte in dimensionsreduzierten Systemen	127
3.7.1	Energiespektrum und Zustandsdichte	128
3.7.2	Photoeffekte und geändertes Energiespektrum	133
3.7.3	Vertikaler Transport über maßgeschneiderte Potentialreliefs	138
3.8	Optische Untersuchung photoangeregter Zustände	146
4	Nichtlinearitäten beim Photoeffekt	150
4.1	Nichtlineare Generation durch Mehrquanten-Absorption	150
4.2	Nichtlineare Generation durch Nichtlinearität der Absorption	153
4.3	Nichtlinearitäten bei intrinsischer Rekombination	154
4.4	Anwendungen in der Photonik	159
4.5	Chaos in Photoleitern	161
4.6	Die quadratische Abhängigkeit des Photoeffekts von der Lichtfeldstärke	162
5	Wissenschaftliche Anwendungen	166
5.1	Photoelektronen-Spektroskopie	166
5.1.1	Energieverteilungskurven	166
5.1.2	Methodenübersicht zur Photoelektronen-Spektroskopie	169
5.1.3	Ausgewählte Anwendungsbeispiele	176
5.2	Spektroskopische Anwendungen des inneren Photoeffekts	183
6	Photoelektrische Strahlungsmessung	186
6.1	Meßgrößen und Bewertung von Strahlungsempfängern	186
6.2	Meßtechniken hoher Genauigkeit	191
6.3	Meßtechniken hoher Empfindlichkeit	192
6.4	Meßtechniken hoher Zeitauflösung	200
6.5	Strahlungsmessung in unterschiedlichen Spektralbereichen	203
6.5.1	Silicium-Strahlungsempfänger mit Grundgitteranregung	204
6.5.2	Strahlungsempfänger für die Lichtwellenleitertechnik	207
6.5.3	Infrarot-Strahlungsempfänger	208
6.6	Bildaufnahme	215
6.6.1	Bildaufnahme mit Elektronenstrahlröhren	217
6.6.2	CCD-Bildsensoren	219
6.6.3	Infrarot-Bildaufnahme	224
6.6.4	Xerographische Bildübertragung und Druckbilderzeugung	227
6.7	Solarzellen: Optimierungsziel Leistung	229
	Ausblick	233
	Zitierte Originalarbeiten	234
	Sachwortverzeichnis	242