

Inhalt

0	Einleitung – Vorbemerkungen	11
	Vorwort zur 3. Auflage	15
1	Grundbegriffe	17
2	Physikalische Grundlagen	27
2.1	Grundgrößen des elektrostatischen Felds	27
2.1.1	Elektrische Ladung Q	27
2.1.2	Elektrischer Strom I	31
2.1.3	Stromdichte S	31
2.1.4	Potential φ	33
2.1.5	Elektrische Spannung U	34
2.1.6	Elektrischer Widerstand R	35
2.1.7	Elektrische Energie W	36
2.1.8	Elektrische Leistung P	37
2.2	Elektrostatisches Feld	38
2.2.1	Leiter im elektrostatischen Feld	40
2.2.2	Verschiebungsflussdichte Ψ	41
2.3	Beziehung zwischen Kapazität, Ladung, Spannung (Kondensator)	44
2.4	Energie im elektrostatischen Feld	47
2.5	Bewegung freier Ladungen im elektrostatischen Feld	48
2.6	Reibungselektrizität und Kontaktspannung	48
2.6.1	Reibungselektrizität	49
2.6.2	Kontaktspannung	49
3	Entstehen von elektrostatischen Aufladungen	53
3.1	Allgemeine Entstehungsmechanismen	53
3.2	Allgemeine Entladungsmechanismen	60
3.2.1	Typische Personenentladung	60
3.2.2	Allgemeine Entladungsarten	62

4	Einflussmechanismen elektrostatischer	
	Entladungsvorgänge auf elektronische Bauelemente	67
4.1	Human Body Model – Körper-Entladungsmodell.	68
4.2	Charged Device Model – Modell vom geladenen Objekt	73
4.3	Machine Model (MM)	81
4.4	Field Induced Model – Entstehung elektrostatischer Ladungen durch ein elektrisches Feld	84
4.5	Weitere Entladungsmodelle – Einzelbauelemente	85
4.6	Weitere Entladungsmodelle – Geräte	87
4.7	Zusammenfassung	89
5	Wirkungen von ESD auf elektronische Bauelemente	91
5.1	Aufbau und Wirkungsweise elektronischer Bauelemente	91
5.1.1	Halbleiter allgemein.	91
5.1.2	Leiter	92
5.1.3	Halbleiter	92
5.1.4	Isolator	93
5.1.5	Halbleiter – Aufbau und Wirkungsweise	93
5.1.6	PN-Übergang – Diode	95
5.1.7	NPN- bzw. PNP-Übergang – Transistor	96
5.1.8	Feldeffekttransistor	97
5.2	Entladung an einem MOS-Transistor	100
5.2.1	Praktische MOS-Anordnungen	100
5.2.2	Entladung an einem MOS-Transistor	101
5.2.3	Entladung an einem Leistungs-MOS-Transistor	102
5.3	Latente Fehler oder Degradation	104
5.4	Wirkungen von ESD auf bipolare Bauelemente	107
5.4.1	<i>Wunsch-Bell</i> -Modell zum Bestimmen von ESD-Fehlern	107
5.4.2	Berechnen der ESD-Spannungsschwelle von PN-Übergängen.	108
6	Fehlermodelle elektronischer Bauelemente	113
6.1	Thermischer Durchbruch	114
6.2	Dielektrischer Durchbruch.	115
6.3	Aufschmelzen der Metallisierung	116
7	Schutzmaßnahmen	119
7.1.	Integrierte Schutzschaltungen	119
7.1.1	Widerstandsnetzwerk	120
7.1.2	Diodenkombination	121
7.1.3	Widerstands-Dioden-Kombination	121

7.1.4	Feldplattenelektrode	122
7.1.5	Punch-through-Transistor mit dünnem Gate-Oxid	123
7.1.6	Punch-through-Transistor mit dickem Gate-Oxid (dicker Oxid-Anreicherungssperrschicht-Transistor)	125
7.1.7	Praktische Schutzschaltungsanordnungen	125
7.2	Technologische Schutzmaßnahmen	126
7.3	Organisatorische Schutzmaßnahmen	128
7.3.1	Gestalten der Arbeitsplätze, Arbeitsräume und Arbeitsbereiche ...	130
7.3.2	Anforderungen an einen ableitfähigen Arbeitstisch	133
7.3.3	Anforderungen an einen ableitfähigen Arbeitsstuhl	134
7.3.4	Anforderungen an den ableitfähigen Fußboden	135
7.3.5	Anforderungen an die Handgelenkerdung	140
7.3.6	Anforderungen an die Erdungseinrichtung	141
7.3.7	Anforderungen an die Personenausrüstung – ESD-gerechte Bekleidung und ableitfähige Schuhe	143
7.3.8	Anforderungen an Lagereinrichtungen	145
7.3.9	Anforderungen an die Abgrenzung und Kennzeichnung	146
7.3.10	Kontrolle der Luftfeuchtigkeit	148
7.3.11	Ionisation	148
7.4	ESD-gerechte Ausführung von Maschinen und Anlagen	154
7.5	Verhalten der Arbeitskräfte	156
7.6	Leitfähige und ableitfähige Verpackungen	158
7.6.1	Allgemeines	158
7.6.2	Folien	159
7.6.2.1	Anforderungen und Eigenschaften von Folien	159
7.6.2.2	Nicht aufladbare Folien	160
7.6.2.3	Leitfähige Folien	161
7.6.2.4	Elektrostatisch abschirmende Folien	161
7.6.3	Versandstangen, Trays, Reels	163
7.6.4	Wirkung von Antistatika	164
7.7	Aufgaben und Kontrollfunktionen eines ESD-Koordinators – Überprüfungsrichtlinien	166
7.8	ESD-Kontrollprogramm (ECS) – 5-Stufen-Plan	169
8	Technische Merkblätter für den ESD-Komplex	175
9	Messverfahren	195
9.1	Messen der elektrostatischen Ladung	195
9.2	Messen der elektrischen Feldstärke in einem elektrostatischen Feld	199

9.3	Messen von Oberflächen- und Ableitwiderständen	206
9.3.1	Anwendungshinweise für den Einsatz der im Folgenden beschriebenen Messverfahren und Messprinzipien	209
9.3.2	Messen von Oberflächenwiderständen	211
9.3.3	Messen von Ableitwiderständen	218
9.3.4	Messen von Volumenwiderständen	224
9.3.5	Sonstige Messverfahren	227
9.4	Praktische Messungen und Messvorschriften für Ableit- und Oberflächenwiderstände zum Ermitteln der Wirksamkeit der ESD-Schutzmaßnahmen	229
9.4.1	ESD-gerechte Fußböden	230
9.4.1.1	Ableitwiderstand von Fußböden	230
9.4.1.2	Oberflächenwiderstand von Fußböden und Materialien für Fußböden	232
9.4.2	ESD-gerechte Arbeitsoberflächen	233
9.4.2.1	Ableitwiderstand von Arbeitsoberflächen	233
9.4.2.2	Oberflächenwiderstand von Arbeitsoberflächen und Materialien für Arbeitsoberflächen	235
9.4.2.3	Regaloberflächen	235
9.4.3	Prüfen von Transportwagen	237
9.4.4	Prüfen von ESD-gerechten Stühlen	237
9.4.5	Prüfen ESD-gerechter Bekleidung	239
9.4.5.1	Schuhwerk	239
9.4.5.2	Arbeitsbekleidung	241
9.4.5.3	Handschuhe und Fingerlinge	244
9.4.6	Werkzeuge	245
9.4.7	Verpackungsmaterialien	246
9.4.7.1	ESD-gerechte Folien	247
9.4.7.2	Wellpappe, leitfähig beschichtet	247
9.4.7.3	IC-Versandstangen, Rollen, Gurte usw.	247
9.5	Messen der Aufladbarkeit von Materialien	248
9.5.1	Aufladbarkeit von Bodenbelägen	249
9.5.2	Aufladung von Personen beim Gehen über einen Fußboden	250
9.5.3	Aufladbarkeit von Arbeitsplatzoberflächen	251
9.6	Bestimmen der Materialeigenschaften von Verpackungsmaterialien	253
9.6.1	Oberflächenwiderstand	253
9.6.2	Volumenwiderstand	255
9.6.3	Abschirmverhalten	255
9.6.4	Ableitzeitmessung – Static decay time	258

9.7	Entladezeit-Ionisatoren	260
9.8	Luftfeuchtigkeit und Temperatur	263
9.9	Einige Probleme beim Messen elektrostatischer Kenngrößen	263
10	ESD-Normung	265
10.1	Stand und Tendenzen bei der ESD-Normung	265
10.2	ESD-Normung DIN EN 61340-5-1 [7] und DIN EN 61340-5-2 [8]	270
10.2.1	Anwendungsbereich	270
10.2.2	Grundspezifikation – Allgemeine Anforderungen – Allgemeines	271
10.2.3	Definitionen	272
10.2.4	ESD-Kontrollprogramm	275
10.2.4.1	Anforderungen an ein ESD-Kontrollprogramm	275
10.2.4.2	ESD-Koordinator	276
10.2.4.3	Anpassung	276
10.2.4.4	ESD-Kontrollprogramm	277
10.2.4.5	Anforderungen an die ESD-Schutzzone (EPA)	282
10.2.4.6	Kennzeichnung von ESDS-, ESD-gerechten Materialien und Ausrüstungen sowie ESD-Arbeitsplätzen und -Bereichen	302
10.3	Anforderungen an ESD-gerechte Transportmittel und Verpackungen	305
10.4	ESD-Kontrollmaßnahmen bei Einkauf, Wareneingang, Lagerung	308
10.5	Schulung des Personals	310
10.6	Qualitätsverantwortung	311
10.7	Normgerechte Mess- und Prüfverfahren für ESD-Kontrollmaßnahmen und Materialien, die in einer EPA eingesetzt werden sollen	316
10.7.1	Widerstandsmessungen	316
10.7.1.1	Oberflächenwiderstand	317
10.7.1.2	Ableitwiderstand	317
10.7.1.3	Vergleich und Beurteilung der Messverfahren für Ableit- und Oberflächenwiderstände	317
10.7.2	Tägliche Kontrolle von Handgelenk-Erdungsarmbändern und Schuhen	318
10.7.3	Normgerechtes Prüfen von Materialien und Ausrüstungen	320
10.8	Besondere Anforderungen	320
10.8.1	Anforderungen bei niedriger Luftfeuchtigkeit	320
10.8.2	Anforderungen an ESD-gerechte Reinraumbereiche	321
10.8.3	Anforderungen an Bereiche, in denen mit offenen Spannungen gearbeitet wird	321
10.9	Muster für ein ESD-Kontrollprogramm	322

11	Praktische Messungen und Erfahrungen	335
11.1	Erfahrungen bei der Messung von Fußböden sowie Arbeitsplatzoberflächen nach der aktuellen ESD-Norm DIN EN 61340-5-1	335
11.2	Erfahrungen bei der Messung von Verpackungsmaterialien für elektronische Bauelemente und Baugruppen nach der aktuellen ESD-Norm DIN EN 61340-5-1	349
12	Literatur	357
12.1	Kapitel 1.	357
12.2	Kapitel 2.	357
12.3	Kapitel 3.	358
12.4	Kapitel 4.	358
12.5	Kapitel 5.	359
12.6	Kapitel 6.	359
12.7	Kapitel 7.	359
12.8	Kapitel 8 und 9.	360
12.9	Kapitel 10.	361
12.10	Kapitel 11.	362
	Stichwortverzeichnis	363