

Inhalt

0	Einleitung – Vorbemerkungen	11
	Vorwort zur 4. 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.....	85
4.5	Weitere Entladungsmodelle – Einzelbauelemente.....	86
4.6	Weitere Entladungsmodelle – Geräte.....	88
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-Kontrollsystem (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-Kontrollmaßnahmen.	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.	246
9.4.7	Verpackungsmaterialien.	247
9.4.7.1	ESD-gerechte Folien.	247
9.4.7.2	Wellpappe, leitfähig beschichtet.	248
9.4.7.3	IC-Versandstangen, Rollen, Gurte usw.	249
9.5	Messen der Aufladbarkeit von Materialien.	249
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.	252
9.6	Bestimmen der Materialeigenschaften von Verpackungsmaterialien.	253
9.6.1	Oberflächenwiderstand.	254
9.6.2	Volumenwiderstand.	255
9.6.3	Abschirmverhalten.	257

9.6.4	Ableitzeitmessung – Static decay time	257
9.7	Entladezeit-Ionisatoren	260
9.8	Luftfeuchtigkeit und Temperatur	263
9.9	Einige Probleme beim Messen elektrostatischer Kenngrößen	264
10	ESD-Normung.	265
10.1	Stand und Tendenzen bei der ESD-Normung.	265
10.2	ESD-Normung DIN EN 61340-5-1 (VDE 0300-5-1) und DIN EN 61340-5-1 Beiblatt 1 (VDE 0300-5-1 Beiblatt 1) . . .	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	306
10.4	ESD-Kontrollmaßnahmen bei Einkauf, Wareneingang, Lagerung	309
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	318
10.7.1.3	Vergleich und Beurteilung der Messverfahren für Ableit- und Oberflächenwiderstände	318
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 (VDE 0300-5-1)	335
11.2	Erfahrungen bei der Messung von Verpackungsmaterialien für elektronische Bauelemente und Baugruppen nach der aktuellen ESD-Norm DIN EN 61340-5-1 (VDE 0300-5-1) und der DIN EN 61340-5-3 (VDE 0300-5-3)	349
12	Literatur	357
	Stichwortverzeichnis.	365