

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

Wolfgang Warmbier, Systeme gegen Elektrostatik, Untere Giesswiesen 21, 78247 Hilzingen
Phone: +49-7731-8688-0 Fax: +49-7731-8688-34 Email: Rainer.Pfeifle@warmbier.com

Abstract

Weltweit werden in der Elektronikindustrie leitfähige oder ableitfähige Tiefziehformteile für den Transport und die Lagerung von ESDS (Electrostatic Sensitive Devices) verwendet. Es gilt diese ESDS vor elektrostatischen Entladungen zu schützen und sicherzustellen, dass diese ESDS keinen elektrostatischen Feldern > 100 V/cm ausgesetzt werden. Aufgeladene ESDS in Berührung mit einer Materialoberfläche sollen definiert zu einem Erdungspunkt entladen werden können. Durch die Messung vieler verschiedener Tiefziehformteile im Rahmen von ESD-Audits wurde festgestellt, dass eine große Anzahl der verwendeten Tiefziehformteile den gewünschten Anforderungen **nicht** entsprechen, wenn Messungen in den Kavitäten durchgeführt werden. Dieser Bericht zeigt die Messergebnisse von einem Tiefziehformteil, welches aus vier verschiedenen Polystyrol-Materialien für eine Produktqualifizierung hergestellt wurde.

Vacuum formed trays are widely used in electronic production for handling and storage of ESD sensitive electronic circuits. These circuits are sensitive to electrostatic discharges and to electrostatic fields exceeding 100 V/cm. ESDS in contact with surfaces shall dissipate their charge in a defined time to ground potential.

While checking vacuum formed trays during ESD audits in many different locations, we have realized that a significant quantity of the trays, when tested inside the cavities, do not comply with the norm recommendations regarding the safe handling of ESDS.

This report shows test results of a vacuum formed tray that had been produced out of four different Polystyrene materials for a product qualification

1. Einleitung

In der Regel werden für leitfähige oder ableitfähige Tiefziehformteile Materialien aus Polystyrol (PS) oder Polypropylen (PP) verwendet. Das bis heute am häufigsten verwendete Material ist Polystyrol mit Karbon (Ruß) als leitfähiges Additiv.

Neuerdings sind weitere Polystyrolmaterialien mit sogenannten ICP-Additiven (ICP - Inherently Conductive Polymers) bzw. IDP-Additiven (IDP-Inherently Dissipative Polymers) als alternative Materialien zum „karbongefüllten“ PS-Material erhältlich.

Eine kunststoffverarbeitende Firma hatte für eine Produktfreigabe seitens Ihres Kunden ein Tiefziehformteil aus vier verschiedenen Materialien produziert. Die Firma Warmbier wurde konsultiert, um die ESD-relevanten Messungen an Stichprobenmustern durchzuführen und diese zu bewerten. Das Tiefziehformteil sollte zukünftig für die Lagerung und den Transport „innerhalb“ einer ESD-Schutzzone (EPA), für eine „batteriegepufferte“ Leiterplatte verwendet werden.

Anforderungen an das Tiefziehformteil aus PS-Material

Da dieses Tiefziehformteil innerhalb einer ESD-Schutzzone für den Transport und die Lagerung von ESDS benutzt wird, gelten nach DIN EN 61340-5-1 /1/ folgende Anforderungen für den Oberflächenwiderstand R_S :

	Innerhalb einer ESD-Schutzzone (EPA)	
	Direkt anliegende Verpackung	Umhüllende Verpackung
ESDS	Entweder gering aufladbar und elektrostatisch leitfähig ($1 \times 10^2 \leq R_S < 1 \times 10^5 \Omega$) oder Gering aufladbar und elektrostatisch ableitend (ableitfähig) ($1 \times 10^5 \leq R_S < 1 \times 10^{11} \Omega$) Für batteriegepufferte ESDS: Nur gering aufladbar und elektrostatisch ableitend (ableitfähig) ($1 \times 10^8 < R_S < 10^{11} \Omega$)	Gering aufladbar und Schirmwirkung gegen elektrostatische Entladung oder Gering aufladbar und elektrostatisch leitfähig oder elektrostatisch ableitend (ableitfähig)
Nicht ESDS	Verpackung geeignet für ESDS oder gering aufladbar	
Bei Verwendung von Materialien mit einem Oberflächenwiderstand $> 10^9 \Omega$ sollte das Material zusätzlich durch eine Prüfung der elektrostatischen Entladezeit geprüft werden. Anforderung: Entladezeit einer Aufladung (max. 1.000 Volt) auf 10% der Anfangsspannung in weniger als 2 Sekunden. Es ist erlaubt, sofern vom ESD Koordinator freigegeben, Materialien mit einem Oberflächenwiderstand (außen) $< 10^4 \Omega$ zu verwenden.		

Tabelle 01 – Anforderung an ESDS-Verpackung innerhalb einer ESD-Schutzzone

In unserem Fall ist das Tiefziehformteil eine „direkt anliegende Verpackung“, d.h. die ESDS liegen in den Kavitäten und berühren die Materialoberfläche.

Idealer Widerstandsbereich für „direkt anliegende“ Verpackung

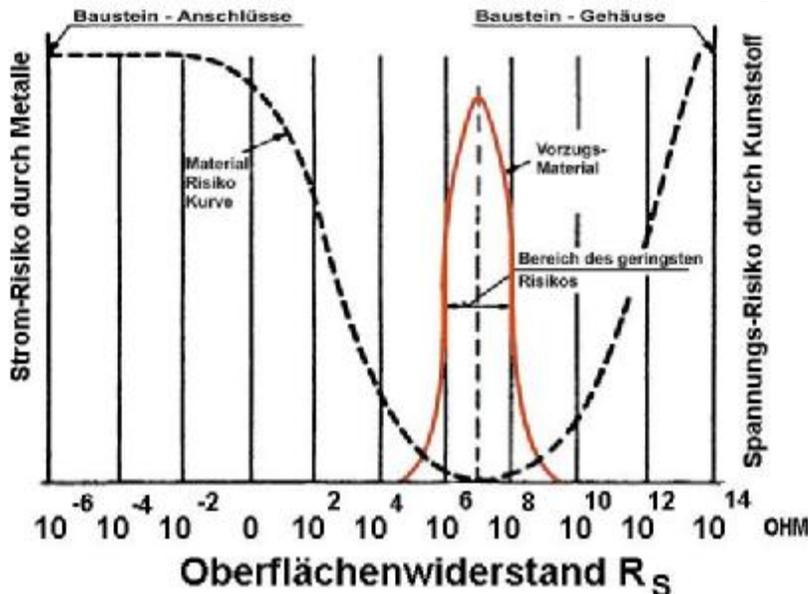


Bild 01 – Idealer Oberflächenwiderstand - Walther/SIEMENS AG /2/

Der ideale Widerstandsbereich für Oberflächen, welche in direktem Kontakt mit ESDS treten können, liegt im Bereich $R_S = 10^6 - 10^8 \Omega$.

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

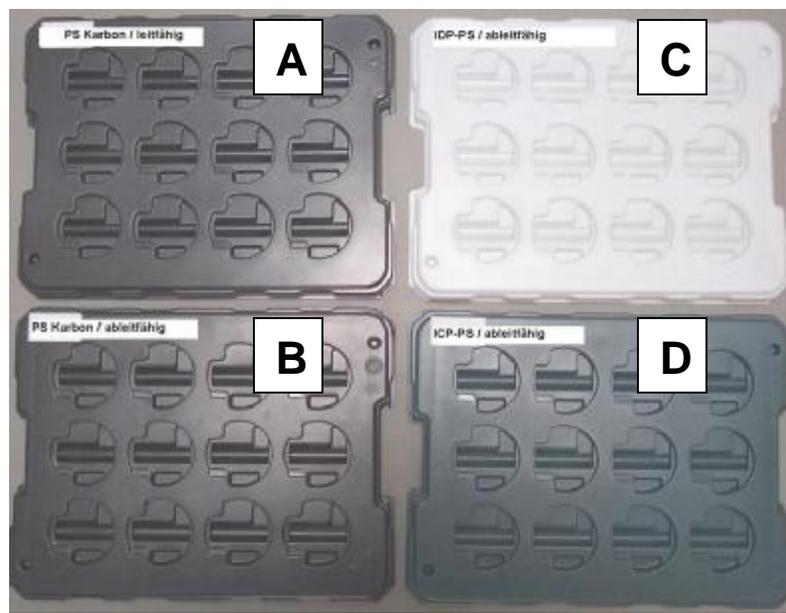
Materialien mit einem Oberflächenwiderstand kleiner $10^4 \Omega$ stellen eine Gefahr der harten Entladung dar, wenn diese mit elektrostatisch aufgeladenen ESDS in Berührung kommen. Materialien mit einem Oberflächenwiderstand größer $10^9 \Omega$ müssen durch eine Prüfung der elektrostatischen Entladezeit geprüft werden (Tabelle 01).

2. Untersuchte Polystyrol-Materialien

Polystyrol-Folien (Dicke 1 mm)	Oberflächenwiderstand R_s (Herstellerangaben)	Schichten	Leitfähiges Additiv
PS Karbon - leitfähig (Schwarz)	10^2 bis $10^4 \Omega$	Mono-Layer	Karbon
PS Karbon - ableitfähig (Schwarz)	10^5 bis $10^7 \Omega$	Mono-Layer	Karbon
ICP-PS - ableitfähig (Grün)	10^5 bis $10^7 \Omega$	Multi-Layer	Polyaniline
IDP-PS - ableitfähig (Natur/weiß)	10^9 bis $10^{10} \Omega$	Multi-Layer	IDP-Additiv

Tabelle 02

Von allen vier Materialien lagen Chargenmuster der Polystyrolfolien (Rollenware) mit einer Materialdicke von 1 mm vor. Es wurden daraus jeweils mit einer Tiefziehform die vier verschiedenen Polystyrolmaterialien zu Formteilen tiefgezogen. Pro PS-Material lagen 30 Musterformteile für die messtechnische Untersuchung vor.



- A – PS Karbon / leitfähig
- B – PS Karbon / ableitfähig
- C – IDP-PS / ableitfähig
- D – ICP-PS / ableitfähig

Bild 02 – Tiefziehformteil aus vier verschiedenen Polystyrolmaterialien

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

3. Messungen

- a) Messung des „Punkt-zu-Punkt-Widerstandes“ R_P nach DIN EN 61340-2-3 an planen Folienmustern (Chargenmuster der verwendeten Rollen)
- b) Messung „Punkt-zu-Punkt-Widerstand“ R_P mit Zweipunktelektrode nach ANSI/ESD STM 11.13 in den Kavitäten und an der Oberseite des Tiefziehformteiles nach dem Tiefziehprozess
- c) Messung „Ableitwiderstand zu einer Metallplatte“ R_G mit Zweipunktelektrode nach ANSI/ESD STM 11.13 in den Kavitäten und an der Oberseite des Tiefziehformteiles nach dem Tiefziehprozess
- d) Messung der Aufladbarkeit mit einem hochauflösenden Voltmeter nach Reiben mit einer „elektrostatisch isolierenden“ PE-Folie in den Kavitäten

Verwendete Messgeräte:

Messgerät	Detailinformation
Tera-Ohmmeter TO-03	Messbereich 90 k Ω bis 33 T Ω (Messspannung 100 Volt)
Hochohmmeter METRISO2000	Messbereich 1 k Ω bis 1 M Ω (Messspannung 10 Volt) Messbereich 100 k Ω bis 1T Ω (Messspannung 100 Volt)
Messelektroden nach DIN EN 61340-2-3	Gewicht 2,27 kg mit leitfähigem Gummi (Shorehärte 65 Shore A) Durchmesser 63,5 mm
Zweipunktelektrode nach ANSI/ESD STM11.13	Gefederte Zweipunktelektrode mit leitfähigem Gummi (Shorehärte 55 Shore A) Elektrodenabstand 6,4 mm
Hochauflösendes Voltmeter Typ TREK 542-1-CE	Messbereich 0 bis +- 10.000 Volt „Non-contacting voltage measurement with field chopper probe“

Tabelle 03

Konditionierung:

Nach den Messungen bei Umgebungsbedingungen wurden die Prüfmuster jeweils > 48 Stunden in einer Klimakammer bei einer relativen Luftfeuchte von 12% +- 3% und einer Temperatur 23° C +- 3° C konditioniert und danach in der Klimakammer nochmals geprüft.

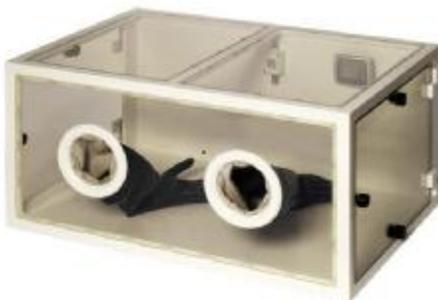


Bild 03 – Klimakammer



Bild 4 - Tera-Ohmmeter TO-03

a) Punkt-zu-Punkt-Widerstand nach DIN EN 61340-2-3 an Folienmustern (Chargenmustern)

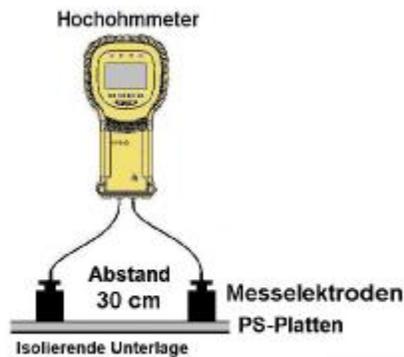


Bild 05 – Messung Punkt-zu-Punkt-Widerstand



Bild 06
Messelektrode nach
DIN EN 61340-2-3

Messung bei einer relativen Luftfeuchte von 41,5%

Prüfmuster	PS-Karbon Leitfähig		PS-Karbon Ableitfähig		ICP-PS Ableitfähig		IDP-PS Ableitfähig	
	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2
1	1,8 kΩ	2,5 kΩ	160 kΩ	580 kΩ	1,5 MΩ	2,4 MΩ	2,6 GΩ	2,8 GΩ
2	2,3 kΩ	2,1 kΩ	1,2 MΩ	780 kΩ	3,4 MΩ	3,8 MΩ	1,8 GΩ	2,3 GΩ
3	1,7 kΩ	1,9 kΩ	480 kΩ	620 kΩ	2,3 MΩ	2,2 MΩ	3,1 GΩ	3,5 GΩ
4	3,5 kΩ	2,8 kΩ	810 kΩ	6,8 MΩ	4,1 MΩ	5,3 MΩ	2,3 GΩ	1,9 GΩ
5	2,1 kΩ	2,8 kΩ	4,3 MΩ	8,5 MΩ	2,2 MΩ	3,6 MΩ	3,6 GΩ	3,1 GΩ

Tabelle 04

Messung bei einer relativen Luftfeuchte von 12,5%

Messpunkt	PS-Karbon Leitfähig		PS-Karbon Ableitfähig		ICP-PS Ableitfähig		IDP-PS Ableitfähig	
	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2	Seite 1	Seite 2
1	7,3 kΩ	7,2 kΩ	270 kΩ	670 kΩ	2,4 MΩ	3,2 MΩ	4,6 GΩ	4,8 GΩ
2	7,8 kΩ	8,2 kΩ	2,1 MΩ	1,5 MΩ	6,2 MΩ	6,5 MΩ	3,7 GΩ	5,8 GΩ
3	6,8 kΩ	5,9 kΩ	660 kΩ	850 kΩ	4,8 MΩ	4,9 MΩ	5,4 GΩ	6,3 GΩ
4	8,5 kΩ	7,6 kΩ	1,8 MΩ	12,5 MΩ	6,9 MΩ	6,8 MΩ	4,1 GΩ	3,1 GΩ
5	6,2 kΩ	6,9 kΩ	7,1 MΩ	15,1 MΩ	4,1 MΩ	6,2 MΩ	5,4 GΩ	5,2 GΩ

Tabelle 05

Bewertung der Messergebnisse:

- PS-Karbon (leitfähig) ⇒ Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_p im Bereich $10^3 \Omega$
(Messergebnis entspricht den Herstellerangaben)
- PS-Karbon (ableitfähig) ⇒ Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_p im Bereich $10^5 - 10^7 \Omega$
(Messergebnis entspricht den Herstellerangaben)
- ICP-PS (ableitfähig) ⇒ Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_p im Bereich $10^6 \Omega$
(Messergebnis entspricht den Herstellerangaben)
- IDP-PS (ableitfähig) ⇒ Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_p im Bereich $10^9 \Omega$
(Messergebnis entspricht den Herstellerangaben)

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

b) Punkt-zu-Punkt-Widerstand mit „Zweipunktelektrode“ nach ANSI/ESD STM 11.13 in den Kavitäten und an der Oberseite des Tiefziehformteiles nach dem Tiefziehprozess

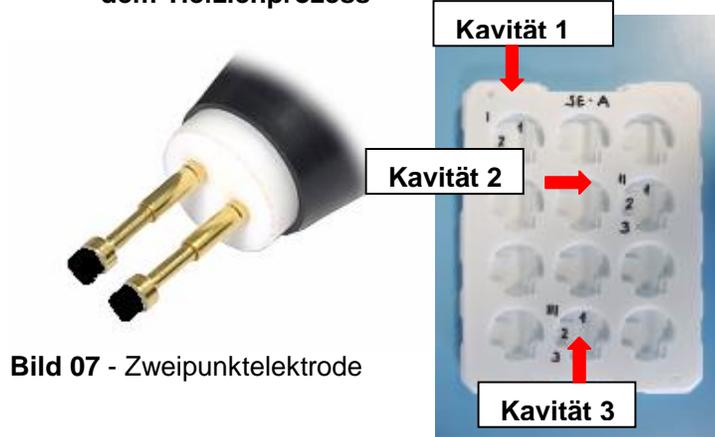


Bild 07 - Zweipunktelektrode



Bild 08 – Messpunkte

Bild 09 – Messung in Kavität

Messung bei einer relativen Luftfeuchte von 41,5% und 12,5%

Messpunkt 1 = tiefste Stelle in der Kavität (ca. 15 mm unterhalb der Oberseite)

Messpunkt 2 = weitere Stelle in der Kavität (ca. 8 mm unterhalb der Oberseite)

Messpunkt 3 = Oberseite Tiefziehformteil (flache, nicht tiefgezogene Stelle)

	Messpunkt	R.H.	<i>PS Karbon (leitfähig)</i> Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_p				
			Muster 1	Muster 2	Muster 3	Muster 4	Muster 5
Kavität 1	1	41,5 %	79 k Ω	85 k Ω	99 k Ω	96 k Ω	92 k Ω
		12,5 %	115 k Ω	108 k Ω	128 k Ω	98 k Ω	108 k Ω
	2	41,5 %	110 k Ω	88 k Ω	87 k Ω	110 k Ω	86 k Ω
		12,5 %	176 k Ω	123 k Ω	108 k Ω	128 k Ω	105 k Ω
	3	41,5 %	80 k Ω	65 k Ω	67 k Ω	58 k Ω	79 k Ω
		12,5 %	120 k Ω	89 k Ω	88 k Ω	79 k Ω	108 k Ω
Kavität 2	1	41,5 %	92 k Ω	93 k Ω	73 k Ω	86 k Ω	89 k Ω
		12,5 %	98 k Ω	115 k Ω	92 k Ω	113 k Ω	122 k Ω
	2	41,5 %	88 k Ω	105 k Ω	66 k Ω	78 k Ω	59 k Ω
		12,5 %	110 k Ω	123 k Ω	88 k Ω	98 k Ω	98 k Ω
	3	41,5 %	85 k Ω	48 k Ω	85 k Ω	75 k Ω	45 k Ω
		12,5 %	105 k Ω	67 k Ω	98 k Ω	88 k Ω	68 k Ω
Kavität 3	1	41,5 %	45 k Ω	85 k Ω	96 k Ω	68 k Ω	69 k Ω
		12,5 %	69 k Ω	87 k Ω	118 k Ω	108 k Ω	88 k Ω
	2	41,5 %	78 k Ω	88 k Ω	75 k Ω	89 k Ω	87 k Ω
		12,5 %	89 k Ω	102 k Ω	88 k Ω	118 k Ω	94 k Ω
	3	41,5 %	102 k Ω	79 k Ω	88 k Ω	91 k Ω	92 k Ω
		12,5 %	125 k Ω	89 k Ω	118 k Ω	118 k Ω	105 k Ω

Tabelle 06

Bewertung der Messergebnisse:

Die Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_p sind sehr homogen im Widerstandsbereich 10^4 - $10^5 \Omega$, d.h. auch nach dem Tiefziehprozess sind die Werte noch im „leitfähigen“ Bereich.

	Messpunkt	R.H.	PS Karbon (ableitfähig) Punkt-zu-Punkt-Widerstand R _p				
			Muster 1	Muster 2	Muster 3	Muster 4	Muster 5
Kavität 1	1	41,5 %	7,5 GΩ	530 GW	125 GW	340 GW	510 GW
		12,5 %	65 GΩ	1,2 TW	410 GW	610 GW	1,2 TW
	2	41,5 % 12,5 %	24,5 GΩ 98 GΩ	640 GW 880 GW	320 GW 650 GW	560 GW 760 GW	560 GW 1,8 TW
Kavität 2	1	41,5 %	780 MΩ	14 GΩ	5,8 GΩ	6,5 GΩ	360 GW
		12,5 %	6,5 GΩ	55 GΩ	9,5 GΩ	33 GΩ	670 GW
	2	41,5 % 12,5 %	460 MΩ 4,2 GΩ	26 GΩ 87 GΩ	4,3 GΩ 8,6 GΩ	8,6 GΩ 18 GΩ	540 GW 890 GW
Kavität 3	1	41,5 %	8,9 GΩ	320 GW	180 GW	85 GΩ	570 GW
		12,5 %	37 GΩ	670 GW	310 GW	188 GW	1,3 TW
	2	41,5 % 12,5 %	6,5 GΩ 38 GΩ	185 GW 310 GW	340 GW 580 GW	29 GΩ 63 GΩ	490 GW 810 GW
3	41,5 %	125 kΩ	165 kΩ	145 kΩ	210 kΩ	2,6 MΩ	
	12,5 %	178 kΩ	380 kΩ	189 kΩ	870 kΩ	21 MΩ	

Tabelle 07

Bewertung der Messergebnisse:

Die Punkt-zu-Punkt-Widerstände in den Kavitäten sind sehr hochohmig geworden und liegen im Bereich 10^9 - 10^{12} Ω. An den nicht tiefgezogenen Stellen (Oberseite des Tiefziehformteiles), liegen die Werte noch im Bereich 10^5 - 10^7 Ω.

⇒ **Viele Kavitäten liegen nach dem Tiefziehprozess im „elektrostatisch“ isolierenden Bereich $> 1 \times 10^{11}$ W (> 100 GW)**

	Messpunkt	R.H.	<i>ICP-PS Karbon (ableitfähig)</i> Punkt-zu-Punkt-Widerstand R _P				
			Muster 1	Muster 2	Muster 3	Muster 4	Muster 5
Kavität 1	1	41,5 %	5,8 MΩ	8,8 MΩ	5,2 MΩ	4,8 MΩ	7,1 MΩ
		12,5 %	9,2 MΩ	12,1 MΩ	6,8 MΩ	6,8 MΩ	11,6 MΩ
	2	41,5 %	3,7 MΩ	5,4 MΩ	4,4 MΩ	6,2 MΩ	6,8 MΩ
Kavität 2	1	41,5 %	6,3 MΩ	6,1 MΩ	6,2 MΩ	8,8 MΩ	9,8 MΩ
		12,5 %	6,6 MΩ	6,7 MΩ	5,9 MΩ	4,9 MΩ	7,3 MΩ
	2	41,5 %	10,8 MΩ	9,3 MΩ	8,8 MΩ	9,8 MΩ	10,2 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	5,4 MΩ	6,2 MΩ	7,1 MΩ	7,2 MΩ	7,2 MΩ
		12,5 %	8,8 MΩ	8,8 MΩ	9,7 MΩ	7,9 MΩ	8,9 MΩ
	2	41,5 %	9,1 MΩ	4,5 MΩ	7,2 MΩ	8,1 MΩ	4,6 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	12,8 MΩ	7,8 MΩ	10,3 MΩ	8,9 MΩ	6,8 MΩ
		12,5 %	6,3 MΩ	7,2 MΩ	7,8 MΩ	6,5 MΩ	5,8 MΩ
	2	41,5 %	7,8 MΩ	8,8 MΩ	15,1 MΩ	8,3 MΩ	8,8 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	3,4 MΩ	6,2 MΩ	6,9 MΩ	4,9 MΩ	6,9 MΩ
		12,5 %	5,8 MΩ	9,2 MΩ	9,8 MΩ	7,8 MΩ	9,8 MΩ
	2	41,5 %	8,9 MΩ	4,8 MΩ	5,7 MΩ	5,7 MΩ	6,7 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	10,5 MΩ	7,8 MΩ	8,8 MΩ	9,8 MΩ	9,8 MΩ
		12,5 %	7,8 MΩ	5,9 MΩ	5,5 MΩ	5,4 MΩ	5,2 MΩ
	2	41,5 %	11,8 MΩ	7,2 MΩ	10,9 MΩ	8,5 MΩ	7,1 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	5,8 MΩ	9,2 MΩ	9,8 MΩ	7,8 MΩ	9,8 MΩ
		12,5 %	8,9 MΩ	4,8 MΩ	5,7 MΩ	5,7 MΩ	6,7 MΩ
	2	41,5 %	10,5 MΩ	7,8 MΩ	8,8 MΩ	9,8 MΩ	9,8 MΩ
Kavität 3	1	41,5 %	7,8 MΩ	5,9 MΩ	5,5 MΩ	5,4 MΩ	5,2 MΩ
		12,5 %	11,8 MΩ	7,2 MΩ	10,9 MΩ	8,5 MΩ	7,1 MΩ

Tabelle 08

Bewertung der Messergebnisse:

Die Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_P sind sehr homogen im Widerstandsbereich 10⁶ -10⁷ Ω, d.h. auch nach dem Tiefziehprozess sind die Werte noch im idealen „ableitfähigen“ Bereich.

	Messpunkt	R.H.	<i>IDP-PS Karbon (ableitfähig)</i> Punkt-zu-Punkt-Widerstand R _P				
			Muster 1	Muster 2	Muster 3	Muster 4	Muster 5
Kavität 1	1	41,5 %	6,3 GΩ	4,9 GΩ	7,4 GΩ	6,3 GΩ	5,9 GΩ
		12,5 %	10,2 GΩ	8,8 GΩ	9,8 GΩ	11,2 GΩ	8,9 GΩ
	2	41,5 %	7,4 GΩ	6,2 GΩ	7,6 GΩ	7,3 GΩ	7,2 GΩ
Kavität 2	1	41,5 %	12,1 GΩ	10,3 GΩ	11,3 GΩ	12,5 GΩ	9,8 GΩ
		12,5 %	6,9 GΩ	5,8 GΩ	6,8 GΩ	6,8 GΩ	7,3 GΩ
	2	41,5 %	10,8 GΩ	9,3 GΩ	10,2 GΩ	9,8 GΩ	10,5 GΩ
Kavität 3	1	41,5 %	6,6 GΩ	7,8 GΩ	8,7 GΩ	5,5 GΩ	6,6 GΩ
		12,5 %	9,9 GΩ	11,3 GΩ	12,3 GΩ	7,8 GΩ	11,2 GΩ
	2	41,5 %	7,1 GΩ	8,2 GΩ	7,4 GΩ	7,3 GΩ	6,8 GΩ
Kavität 3	1	41,5 %	8,9 GΩ	12,8 GΩ	12,4 GΩ	8,9 GΩ	9,8 GΩ
		12,5 %	7,2 GΩ	8,5 GΩ	7,6 GΩ	6,7 GΩ	6,9 GΩ
	2	41,5 %	10,1 GΩ	15,2 GΩ	13,5 GΩ	10,8 GΩ	10,5 GΩ
Kavität 3	1	41,5 %	7,6 GΩ	8,5 GΩ	8,2 GΩ	6,9 GΩ	7,3 GΩ
		12,5 %	9,8 GΩ	12,9 GΩ	12,1 GΩ	14,5 GΩ	12,2 GΩ
	2	41,5 %	8,2 GΩ	7,2 GΩ	7,6 GΩ	7,5 GΩ	7,8 GΩ
Kavität 3	1	41,5 %	13,2 GΩ	10,3 GΩ	12,8 GΩ	12,4 GΩ	11,7 GΩ
		12,5 %	6,9 GΩ	7,8 GΩ	8,3 GΩ	5,8 GΩ	6,1 GΩ
	2	41,5 %	11,4 GΩ	11,4 GΩ	13,7 GΩ	7,8 GΩ	9,1 GΩ

Tabelle 09

Bewertung der Messergebnisse:

Die Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_P sind sehr homogen im Widerstandsbereich 10⁹ -10¹⁰ Ω, d.h. auch nach dem Tiefziehprozess sind die Werte noch im „ableitfähigen“ Bereich

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

c) Messung Ableitwiderstand in den Kavitäten und an der Oberseite des Tiefziehformteiles zu einer Metallplatte

Für diese Messung wurde ein Tiefziehformteil (jeweils Muster 05) auf eine Metallplatte gelegt. Der Ableitwiderstand R_G wurde mit „einer“ Messelektrode der Zweipunktelektrode zu dieser Metallplatte gemessen.

Ableitwiderstand R_G (gegen Metallplatte) eine Elektrode der Zweipunktelektrode als aktive Messelektrode <i>Muster 05</i>						
	Messpunkt	R.H.	PS-Material Karbon Leitfähig	PS-Material Karbon Ableitfähig	ICP-PS Ableitfähig	IDP-PS Ableitfähig
Kavität 1	1	41,5 %	190 k Ω	1,1 TW	2,2 G Ω	8,5 G Ω
		12,5 %	210 k Ω	1,8 TW	4,8 G Ω	10,2 G Ω
	2	41,5 %	230 k Ω	1,2 TW	4,3 G Ω	8,8 G Ω
12,5 %		290 k Ω	1,5 TW	6,7 G Ω	9,5 G Ω	
3	41,5 %	180 k Ω	460 GW	5,4 G Ω	9,6 G Ω	
	12,5 %	190 k Ω	670 GW	6,3 G Ω	12,1 G Ω	
Kavität 2	1	41,5 %	340 k Ω	1,3 TW	6,2 G Ω	9,8 G Ω
		12,5 %	390 k Ω	2,1 TW	8,9 G Ω	13,2 G Ω
	2	41,5 %	210 k Ω	1,1 TW	2,9 G Ω	11,2 G Ω
12,5 %		280 k Ω	1,3 TW	3,9 G Ω	14,5 G Ω	
3	41,5 %	190 k Ω	360 GW	3,9 G Ω	12,3 G Ω	
	12,5 %	210 k Ω	410 GW	5,6 G Ω	13,8 G Ω	
Kavität 3	1	41,5 %	170 k Ω	1,5 TW	6,2 G Ω	11,8 G Ω
		12,5 %	190 k Ω	1,7 TW	8,9 G Ω	16,1 G Ω
	2	41,5 %	260 k Ω	1,9 TW	5,8 G Ω	8,8 G Ω
12,5 %		270 k Ω	2,5 TW	9,1 G Ω	10,9 G Ω	
3	41,5 %	160 k Ω	620 TW	4,7 G Ω	9,7 G Ω	
	12,5 %	205 k Ω	820 GW	6,8 G Ω	13,8 G Ω	

Tabelle 10

Bewertung der Messergebnisse:

- PS-Karbon (leitfähig) \Rightarrow Ableitwiderstände R_G im Bereich $10^5 \Omega$ (leitfähiger Bereich)
- PS-Karbon (ableitfähig) \Rightarrow **Ableitwiderstände R_G im elektrostatisch isolierenden Bereich $> 10^{11} W (> 100 GW) !$**
- ICP-PS (ableitfähig) \Rightarrow Ableitwiderstände R_G im Bereich $10^9 \Omega$ (ableitfähiger Bereich)
- IDP-PS (ableitfähig) \Rightarrow Ableitwiderstände R_G im Bereich $10^{10} \Omega$ (ableitfähiger Bereich)

d) **Messung Aufladbarkeit mit Voltmeter (interner Test – keine Messung nach einem Standard)**



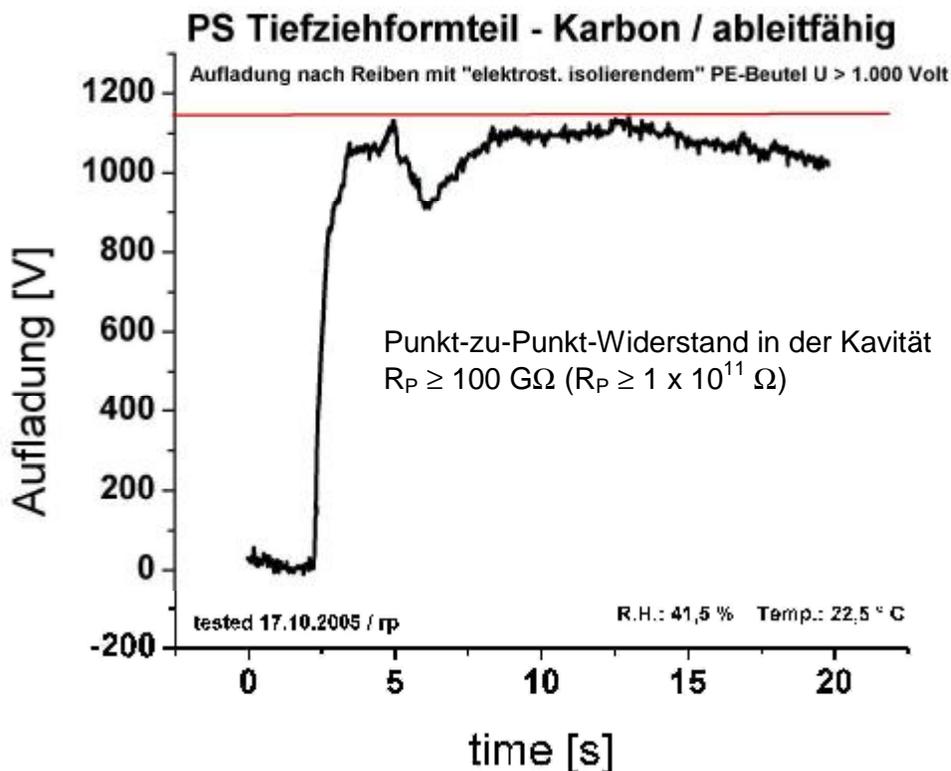
Bild 10 – TREK Voltmeter 542-1-CE



Bild 11 – Messung in den Kavitäten

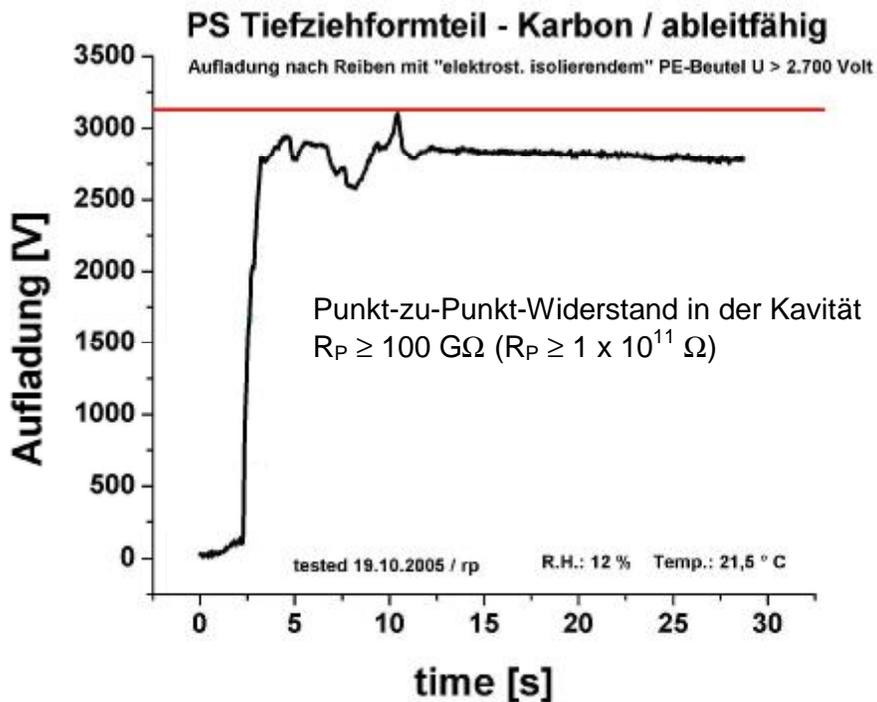
In den Kavitäten der verschiedenen Tiefziehformteilen (jeweils **Muster 05**) wurde mit einer „elektrostatisch isolierenden“ PE-Folie (Oberflächenwiderstand $R_s > 33 \text{ T}\Omega$) versucht eine triboelektrische Aufladung zu erzeugen. Die Messung der Aufladbarkeit erfolgte mit einem elektrostatischen Voltmeter (Bild 10). Es wurde mit einem hochauflösenden Messkopf direkt in der Kavität die Aufladung in Volt gemessen (Bild 11).

Das Tiefziehformteil lag auf einer geerdeten Metallplatte und die Person war bei der Messung über eine Handgelenkbanderung geerdet.



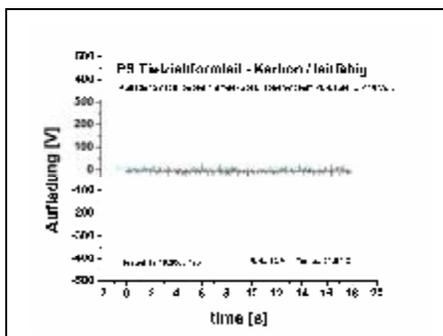
Grafik 01 – Messung in Kavitäten PS – Karbon (ableitfähig) bei R.H.: 41,5%

Das Tiefziehformteil „Karbon / ableitfähig“ war auf **> 1.150 Volt** aufladbar. Es fand nach der Aufladung keine akzeptable Entladung zur geerdeten Metallplatte statt.

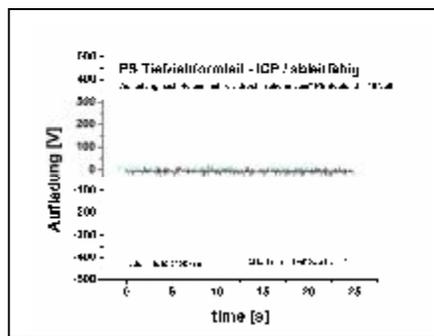


Grafik 02 – Messung in den Kavitäten PS – Karbon (ableitfähig) bei R.H.: 12 %

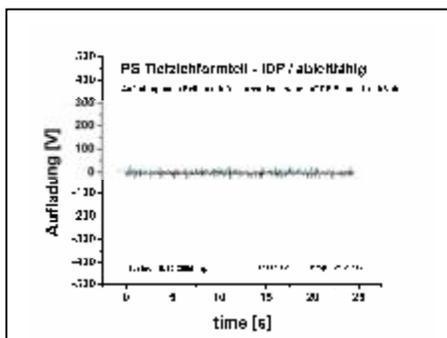
Das Tiefziehformteil „Karbon / ableitfähig“ war auf **≥ 2.700 Volt** aufladbar. Es fand nach der Aufladung keine akzeptable Entladung zur geerdeten Metallplatte statt.



Grafik 03 – Karbon leitfähig / R.H.: 12%



Grafik 04 – ICP ableitfähig / RH: 12%



Grafik 05 – IDP ableitfähig / RH.: 12%

Aufladungen:

PS Karbon leitfähig U < 10 Volt

ICP-PS ableitfähig U < 10 Volt

IDP-PS ableitfähig U < 10 Volt

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Material	Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_P an Folienmustern vor dem Tiefziehen	Punkt-zu-Punkt-Widerstand R_P mit Zweipunkt-Elektrode in den Kavitäten des Tiefziehformteils	Ableitwiderstand R_G zu einer Metallplatte mit Zweipunkt-Elektrode in den Kavitäten des Tiefziehformteils	Aufladbarkeit Messung Aufladung in Kavität
PS Karbon (leitfähig)	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^3 \Omega$ Herstellerangaben erfüllt	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^4 - 10^5 \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^5 \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Aufladung $U < 10$ Volt
PS Karbon (ableitfähig)	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^5 - 10^6 \Omega$ Herstellerangaben erfüllt	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^9 - 10^{12} \Omega$ (Werte an der Oberseite des Tiefziehformteiles im Bereich $10^5 - 10^7 \Omega$)	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^{11} - 10^{12} \Omega$	RH 41,5 %: Aufladung $U > 1.100$ Volt RH: 12% Aufladung $U > 2.700$ Volt Hinweis: Kavitäten mit $R_P > 100 \text{ G}\Omega$
ICP-PS (ableitfähig)	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^6 \Omega$ Herstellerangaben erfüllt	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^6 - 10^7 \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^9 \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Aufladung $U < 10$ Volt
IDP-PS (ableitfähig)	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^9 \Omega$ Herstellerangaben erfüllt	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^9 - 10^{10} \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Werte im Bereich $10^9 - 10^{10} \Omega$	RH: 41,5 % / RH: 12% Aufladung $U < 10$ Volt

Tabelle 11

PS Karbon (leitfähig) \Rightarrow tauglich

- Der Oberflächenwiderstand (Punkt-zu-Punkt-Widerstand) und der Ableitwiderstand liegen im „leitfähigen“ Bereich.
- Das geerdete Tiefziehformteil war durch die Reibung in den Kavitäten mit einem isolierenden PE-Beutel nicht aufladbar.
- Jedoch nicht geeignet für batteriegepufferte Leiterplatten.

PS Karbon (ableitfähig) \Rightarrow nicht tauglich !

- Der Oberflächenwiderstand (Punkt-zu-Punkt-Widerstand) und der Ableitwiderstand liegen im Bereich „leitfähig“ bis hin zu „elektrostatisch isolierend“.
- Das geerdete Tiefziehformteil war durch die Reibung in den Kavitäten sehr hoch aufladbar.
- Die Aufladung konnte sich aufgrund des schlechten Ableitwiderstandes kaum abbauen.

ICP-PS (ableitfähig) \Rightarrow tauglich

- Der Oberflächenwiderstand (Punkt-zu-Punkt-Widerstand) und der Ableitwiderstand liegen im „ableitfähigen“ Bereich. Der Oberflächenwiderstand liegt im idealen Bereich 10^6 bis $10^8 \Omega$.
- Der Ableitwiderstand liegt durch den Aufbau als „Multi-Layer“ nicht im Bereich 10^6 bis $10^8 \Omega$, sondern im Bereich 10^9 bis $10^{10} \Omega$.
- Das geerdete Tiefziehformteil war durch die Reibung in den Kavitäten mit einem isolierenden PE-Beutel nicht aufladbar.
- Jedoch nicht geeignet für batteriegepufferte Leiterplatten.

IDP-PS (ableitfähig) \Rightarrow tauglich

- Der Oberflächenwiderstand (Punkt-zu-Punkt-Widerstand) und der Ableitwiderstand liegen im „ableitfähigen“ Bereich.
- Das geerdete Tiefziehformteil war durch die Reibung in den Kavitäten mit einem isolierenden PE-Beutel nicht aufladbar.
- Für batteriegepufferte Leiterplatten geeignet.

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

5. Problematik karbongefüllter PS-Materialien im Vergleich zu ICP/IDP-Materialien

Karbongefüllte Materialien

Karbongefüllte PS-Materialien funktionieren aufgrund des Perkolationseffektes, d.h. die verwendeten geperlten Rußpigmente (Bild 12) müssen sich berühren, um eine elektrostatische „Leitfähigkeit“ zu erreichen. Die Funktion der Rußkonzentration zur Leitfähigkeit ist nicht linear, sondern verläuft im Bereich einer Karbonkonzentration von 20% bis ca. 30% sehr steil (Bild 11) bis der Sättigungsbereich erreicht ist.

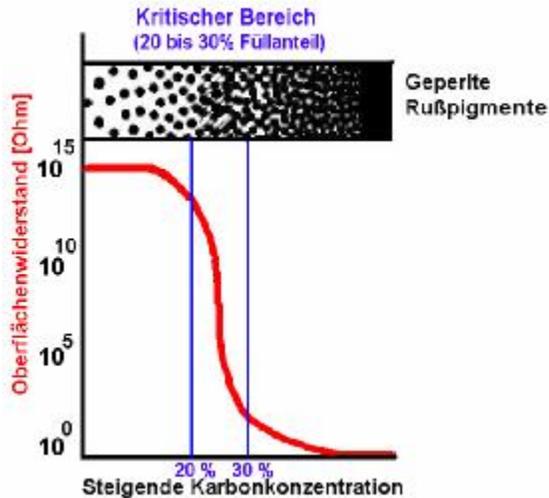


Bild 11

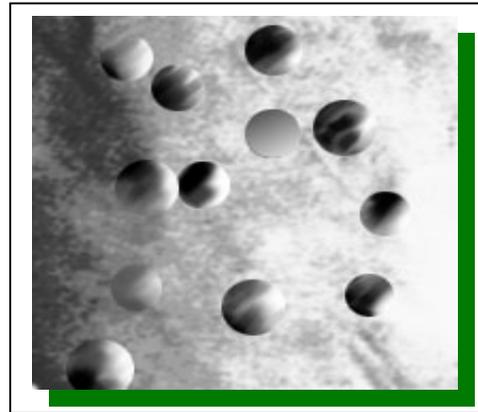


Bild 12 - Geperlte Rußpigmente

Bei dem Polystyrolmaterial mit Karbonanteil (Typ ableitfähig) kommt es nach dem Tiefziehprozess in den Kavitäten zu dem Problem das „elektrostatisch isolierende“ Inseln entstehen. Ursache dafür ist die Zerstörung des Perkolationsnetzwerkes durch den Tiefziehvorgang an den Polystyrolfolien, d.h. die Rußpigmente berühren sich nicht mehr und es entstehen „isolierende“ Bereiche, überwiegend in den tiefgezogenen Bereichen der Kavitäten.

Diese Problematik wird in der Praxis oft nicht erkannt, da in der Regel keine Messungen des Punkt-zu-Punkt-Widerstandes in den Kavitäten durchgeführt werden. Die Messung der Aufladbarkeit in den Kavitäten mit einem „konventionellen“ Elektrofelmeter (z.B. Feldmühlen-prinzip mit Flügelrad mit einem Durchmesser von 1 oder 2 cm) ist ebenfalls kritisch, da die Messung in der Kavität so nicht möglich ist.

Die Messung von Tiefziehformteilen wird bis dato in der Praxis meist nur an den zugänglichen Stellen der Oberseite der Tiefziehformteile mit entsprechenden Norm-Elektroden durchgeführt

↳ keine ausreichende Bewertung des Tiefziehformteiles möglich !

ICP/IDP-Materialien

Die neueren ICP und IDP-Materialien haben gegenüber den karbongefüllten PS-Materialien den Vorteil, dass diese Materialien homogene leitfähige Netzwerkstrukturen bilden (Bild 14), d.h. das leitfähige bzw. ableitfähige Polymer bildet ein permanentes Netzwerk im Substrat aus. Durch einen Tiefziehprozess wird diese Netzwerkstruktur nicht beeinflusst, d.h. die homogene Leitfähigkeit bleibt auch nach einem Tiefziehprozess bestehen.

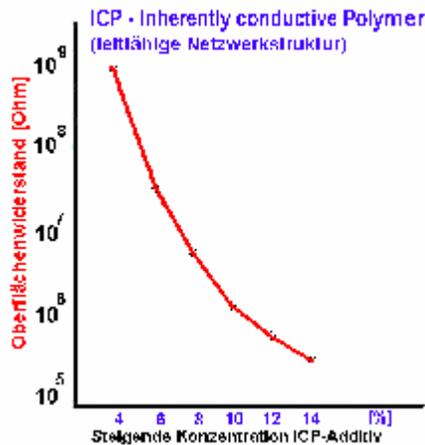


Bild 13

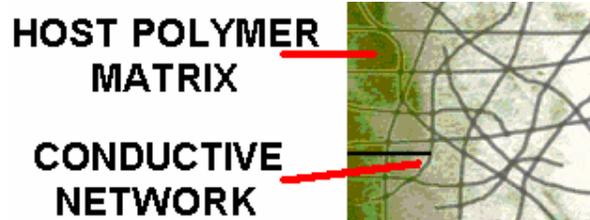


Bild 14

Die Funktion der ICP- bzw. IDP-Konzentration verläuft im Verhältnis zur Leitfähigkeit relativ linear (Bild 13 / 15), d.h. die Leitfähigkeit kann sehr gut eingestellt werden. Die mit ICP-Additiv hergestellten PS-Folien lassen sich im Bereich 10⁵ bis 10⁹ Ω einstellen (Bild 13), die mit IDP-Additiv im Bereich 10⁹ bis 10¹² Ω (Bild 15).

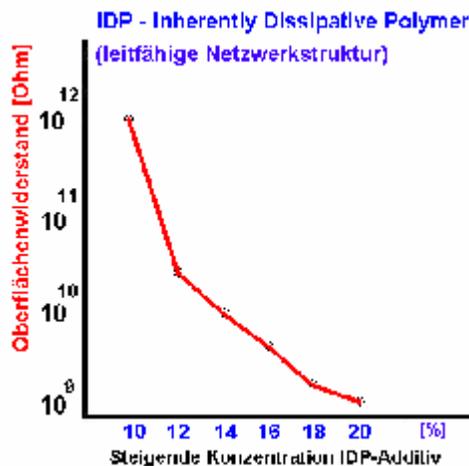


Bild 15

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005

6. Weitere Eigenschaften

Eigenschaft	Karbon	ICP	IDP
Luftfeuchtigkeitsunabhängige Ableitfähigkeit	Ja	Ja	Ja
Dauerhafte Ableitfähigkeit	Ja	Ja	Ja
Gefahr der „harten“ Entladung aufgrund zu leitfähiger Stellen	Ja	Nein	Nein
Farblos	Nein. Produkte sind schwarz durch Karbon.	Nein. Produkte sind grün durch Polyaniline	Ja. Freie Farbwahl für Produkte
Thermisch stabil	Ja	Ja	Ja
Behalten die physikalischen Eigenschaften der „Host Matrix“	Nein	Ja	Ja
Freisetzung von Partikel	Ja	Nein	Nein
Reinraum-Kompatibilität	Nein	Nein	Ja

Tabelle 12

Gefahr der „harten“ Entladung

Gilt für karbongefüllten PS-Materialien, wenn die Oberflächenwiderstände im Bereich $< 10^4 \Omega$ aufweisen.

Beibehaltung der physikalischen Eigenschaften der „Host Matrix“

Bei zunehmender Karbonkonzentration werden die mechanischen Eigenschaften der karbongefüllten PS-Materialien negativ beeinflusst.

Bei den ICP/IDP-Materialien tritt hingegen keine negative Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften auf.

Freisetzung von Partikeln

Karbongefüllte PS-Materialien können durch Abrieb Rußpartikel (Karbon) freisetzen. Die Rußpartikel sind leitfähig und somit besteht eventuell die Gefahr von „Kurzschlüssen“ auf der zu verpackenden Elektronik.

7. Ausblick

Karbonsgefüllte PS-Materialien werden z.T. in drei verschiedenen Ausführungen angeboten

- Elektrostatisch leitfähig - Oberflächenwiderstand $1 \times 10^2 \Omega \leq R_S < 1 \times 10^4 \Omega$
- Elektrostatisch ableitfähig - Oberflächenwiderstand $1 \times 10^4 \Omega \leq R_S < 1 \times 10^6 \Omega$
- Elektrostatisch ableitfähig - Oberflächenwiderstand $1 \times 10^5 \Omega \leq R_S < 1 \times 10^7 \Omega$

Die in diesem Bericht beschriebene „Fallstudie“ zeigt, dass sich die Oberflächenwiderstände dieser Materialien in Abhängigkeit des Tiefziehprozesses (je nach Verstreckungsgrad) zu hochohmigeren Werten ändern können. Dieser Effekt war vor allem beim Typ PS-Karbon/ableitfähig ($1 \times 10^5 \Omega \leq R_S < 1 \times 10^7 \Omega$) sehr deutlich festzustellen.

Ursache ist das „Abreißen“ des Perkolationsnetzwerkes aus Rußpigmenten wenn die Tiefziehformteile beim Tiefziehprozess gestreckt werden.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die ICP-PS und die IDP-PS-Materialien auch nach extremen Tiefziehvorgängen ihre sehr homogenen Oberflächenwiderstände (bzw. Punkt-zu-Punkt-Widerstände) durch Ihre Netzwerkstruktur beibehalten.

Weitere positive Eigenschaften wie z.B.,

- „keine Gefahr harter Entladungen“
- „kein freisetzen von leitfähigen Partikeln“
- „keine negative Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften“

sind weitere Argumente zukünftig diese ICP bzw. IDP-Materialien verstärkt einzusetzen.

Die kunststoffverarbeitende Firma welche uns diese Tiefziehformteile für unsere Bewertung zur Verfügung gestellt hat, nutzt seit 2004 die IDP-PS-Version, da eine batteriegepuffertes ESDS in dem Tiefziehformteil gelagert wird.

Für die Qualifikation wie auch die periodische Überprüfung von leit- und ableitfähigen Tiefziehformteilen wird eine Messung des Punkt-zu-Punkt-Widerstandes R_P , z.B. mit einer Zweipunktelektrode, empfohlen.

Literatur

- /1/ DIN EN 61340-5-1 (08-2001)**
Elektrostatik Teil 5-1: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene - Allgemeine Anforderungen (IEC 61340-5-1: 1998)
- /2/ ESD-Elektrostatische Entladungen– H. Baumgärtner / R. Gärtner**
Oldenbourg Verlag
- /3/ DIN EN 61340-2-3 (12-2000)**
Elektrostatik-Teil 2-3: Prüfverfahren zur Bestimmung des Widerstandes und des spezifischen Widerstandes von festen planen Werkstoffen, die zur Vermeidung elektrostatischer Aufladung verwendet werden (IEC 61340-2-3: 2000)
- /4/ ANSI ESD 11.13**
ESD Association Standard Test Method for the Protection of Electrostatic Discharge susceptible Items
Two-Point Resistance Measurement

Untersuchung der elektrostatischen Eigenschaften von Tiefziehformteilen produziert aus verschiedenen Polystyrolmaterialien

Rainer Pfeifle, Meir Golane

9. ESD-Forum / Berlin 2005