

Effektive RFID-Systemlösungen stehen im Mittelpunkt

Mühlbauer, Intune und DELO starten gemeinsames Forschungsprojekt

Dipl.-Ing. (FH) Florian Hierl, Business Development Manager RFID, DELO Industrie Klebstoffe

Der Markt für Funketiketten hat seine Talsohle durchschritten - RFID ist wieder auf dem Vormarsch: 2007 wurden alleine in der EU 144 Millionen RFID-Tags verkauft. In 15 Jahren sollen es bereits 90 Milliarden sein – so eine aktuelle Studie des EU-Projekts „Building Radio Frequency Identification for the Global Environment“. Über 3.000 RFID-Projekte haben die Analysten von IDTechEx im vergangenen Jahr weltweit identifiziert, das umgesetzte Marktvolumen der Branche betrug bereits fünf Milliarden Dollar. Den größten Anteil von über 40 Prozent hatte daran China. Der Grund: Im Rahmen des nationalen ID-Programms werden alle Personalausweise mit RFID versehen. Alleine dadurch hat RFID einen enormen Aufschwung erfahren. Weiterhin konnten durch eine verstärkte Industrialisierung der Technologie die Herstellungskosten für Etiketten und Readersysteme gesenkt werden. Das führt dazu, dass sich RFID-Anwendungen in den verschiedenen Wertschöpfungsketten weiter ausbreiten. Tendenz steigend - bereits 2016 wird für den weltweiten RFID-Markt ein Potenzial von mehr als 20 Milliarden Euro prognostiziert.

Insbesondere die Industrie entdeckt neue Anwendungen für Funketiketten: In nahezu allen Branchen finden umfangreiche Entwicklungen und Feld-Erprobungen statt. Installationen laufen bereits im Gesundheitswesen, in Fertigungsstraßen und beim Managen von Verpackungseinheiten. So setzt Daimler in seinem LKW-Werk Wörth schon heute RFID-Tags ein. Jedes LKW-Gehäuse bekommt eine digitale Identität. Die Funketiketten übermitteln ihre Daten kabellos an ein Computersystem. Der Vorteil: Der Werksleiter weiß zu jeder Zeit, welches Fahrerhaus wo und in welchem Lackierstadion ist.

Der Hauptfokus bei industriellen Anwendungen liegt zukünftig bei Etiketten sowie Verpackungslösungen. Dabei rückt insbesondere der Anspruch nach kostengünstigen und effizienten Fertigungsverfahren von Smart Labels – einem Etikett mit Halbleiterchip und Antenne- in den Mittelpunkt. Ein wesentlicher Fertigungsschritt bei der Produktion der Funketiketten ist das Aufkleben des Chips auf die Transponderantenne (siehe Abbildung 1).

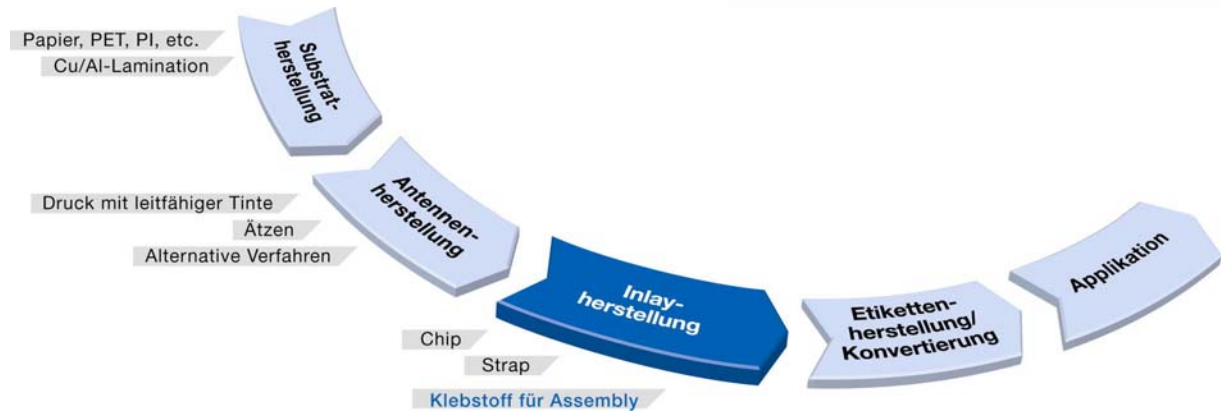


Abbildung 1:
RFID-Wertschöpfungskette

Um eine einfache, kostengünstige und schnelle Kontaktierung von Chips auf unterschiedlichsten Substraten zu ermöglichen, wird bei Smart-Labels die Flip-Chip-Technologie eingesetzt. Der einzusetzende Halbleiterchip wird mit so genannten „Bumps“ (Kontakthöckern) auf dessen strukturierter aktiver Seite ausgestattet. Zur Kontaktierung wird der mit Bumps veredelte Chip mit der aktiven Seite zum Antennensubstrat hin in die Metallisierungsschicht gedrückt. Der im Bereich der aktiven Flächen vorapplizierte Klebstoff kann beim Platzieren des Flip-Chips mittels eines beheizten Stempels ausgehärtet werden (Thermode). Mechanische Fixierung und elektrische Kontaktierung erfolgen so in einem einzigen Prozessschritt. Die Kontaktstellen sind durch das Einbetten im Klebstoff bereits vor Umwelteinflüssen geschützt.

Forschungsprojekt von Intune und DELO mit Unterstützung von Mühlbauer

Wichtig ist insbesondere die Kompatibilität aller Komponenten wie Antennen, Klebstoffen und Maschinen in der Inlay-Fertigung - alle Komponenten müssen zuverlässig aufeinander abgestimmt sein. Im Rahmen eines zukunftsweisenden Forschungsprojekts haben sich jetzt Intune Circuits, ein finnischer Hersteller von RFID-Antennen sowie DELO Industrie Klebstoffe als Marktführer bei maßgeschneiderten Industrieklebstoffen zusammengefunden. Unterstützt werden sie dabei von Mühlbauer AG als Marktführer bei Smart-Label-Produktionslinien. Ziel der Partner ist es, Ziel war es, eine aufeinander abgestimmte Systemlösung in der RFID-Wertschöpfungskette anzubieten. Im Fokus standen die Kompatibilität der von Intune entwickelten Aluminiumantennen mit den Klebstoffen von DELO sowie die Verarbeitbarkeit der beiden Betriebsstoffe auf den Maschinen von Mühlbauer.

Intune hat in Zusammenarbeit mit Herstellern von Rohmaterialien für Lamine, Inlay-Herstellern und Maschinenlieferanten ein geeignetes Aluminiumsubstrat für RFID-Anwendungen entwickelt. Ein qualitativ hochwertiges Antennensubstrat spielt bei der Inlay-Fertigung eine große Rolle, da andernfalls in Kombination mit dem Chip-Klebstoff und den

notwendigen Aushärteprozessen Schwierigkeiten auftreten können. Bei dem für die Tests verwendeten Substrat handelt es sich um das Standardprodukt 102 Aluminium UHF antenna web. Das Laminatdesign basiert auf einer hitzestabilisierten 50 µm PET-Folie mit temperatur- und medienbeständigem Kaschierklebstoff sowie einer hochreinen 9 µm Aluminium-Legierung.



Abbildung 2: Smart Inlay

Wichtig ist insbesondere die chemische Kompatibilität zwischen dem Klebstoff zur Antennenlaminierung und dem Klebstoff zur Verklebung von Halbleiterchips, dem ACP oder NCP. Nur durch eine geeignete Materialkombination ist gewährleistet, dass der Chip dauerhaft und zuverlässig auf der Antenne verklebt ist. Neben der Abstimmung auf chemischer Ebene muss auch die dimensionale Stabilität der Antenne sichergestellt sein. Beim Aushärten des Flip-Chip-Klebstoffes werden auf die Antennen deutlich erhöhte Temperaturen von ca. 200 °C eingebracht. Dadurch kann es unter dem Chip einerseits zur Blasenbildung kommen, was die Zuverlässigkeit des Inlays beeinträchtigen kann, andererseits kann durch den Temperatureinfluss ebenfalls die exakte Dimensionalität der Antennen durch Schrumpfungsprozesse leiden. Dies wirkt sich unter anderem auf die Weiterverarbeitung des Inlays zum Label sowie auf den vollautomatisierten Fertigungsprozess des Flip-Chip-Bondens selbst aus. Die für mikroelektronische Fertigungsprozesse wesentliche Positioniergenauigkeit kann durch ein Strecken des Antennenwebs zu signifikanten Dejustierungen und somit Ausfallraten führen. Weiterhin sind für die Gesamtqualität der Antenne auch die Reinheit der Metalllegierung sowie die Präzision des Ätzprozesses relevant. Insbesondere letzteres ist notwendig, um Antennenstrukturen in hoher Auflösung zu generieren, die in hochvolumigen Rolle-zu-Rolle-Prozessen (Reel-to-Reel) präzise verarbeitet werden können.

Die getesteten Klebstoffe hat DELO speziell für Flip-Chip-Verklebungen im RFID-Bereich entwickelt. Die Klebstoffe müssen auf der jeweiligen Produktionsanlage einerseits problemlos aufgetragen werden können sowie schnell aushärten, um zu einer effektiven und produktiven Fertigung beizutragen. Ein hierbei bewährter Klebstoff ist der DELO-MONOPOX MK055. Das wärmehärtende Epoxid ist ein einkomponentiger ungefüllter Klebstoff – auch

NCP (non conductive paste) genannt. Der Klebstoff härtet z.B. bei 190 °C in 8 Sekunden aus. Darüber hinaus wurden weitere Produkte getestet, die speziell für Aluminiumantennenmetallisierungen modifiziert wurden. Der DELO-MONOPOX AC265 ist ein einkomponentiger, wärmehärtender ACP (anisotropic conductive paste) und basiert auf DELO-MONOPOX MK055. Als Füllstoff werden 2,5 µm NiAu-Partikeln beigegeben, um eine anisotrope Leitfähigkeit zu realisieren. Zusätzlich wurde der DELO-MONOPOX AC VE 42878 getestet: Der Klebstoff ist ein beschleunigter ACP und etwa 20 bis 25 Prozent schneller als MK055-basierte Versionen. Auch dieser Klebstoff ist mit 2,5 µm NiAu-Partikeln ausgestattet

In den Labortests wurden zwei verschiedene Halbleiterchips verwendet. In Kombination mit ACP-Klebstoffen wurde ein Halbleiterchip in der Größe 1 x 1 x 0,3 mm verwendet, der 4 plattierte NiAu-Bumps (jeweils 100 µm x 100 µm) pro Chip aufweist. In Kombination mit NCP-Klebstoffen wurde ein Halbleiterchip mit der Größe 1,5 x 1,5 x 0,15 mm verwendet, der 4 plattierte Pd-Bumps pro IC (jeweils 70 µm x 70 µm) aufweist. Die verwendeten Chips waren mit Teststrukturen versehen, sodass die Zuverlässigkeit der geklebten Verbindung bei unterschiedlichen Alterungstests mittels einer Widerstandsmessung beobachtet werden konnte.

Die Inlays wurden in den DELO-Labors manuell aufgebaut. Der Chip wurde im Wafflepack vorgelegt und über das Vakuumwerkzeug des Die-Bonders „Fineplacer PICO“ der Firma FineTech aufgenommen. Der Klebstoffauftrag auf die Antenne erfolgte mittels manuellen Pin-Transfers. Anschließend wurde der Chip auf dem Substrat ausgerichtet und in Position abgesetzt. Zur Klebstoffaushärtung wurde eine Labor-Thermoden-Station (Typ TTS 300) von Mühlbauer verwendet. Mit der hochzuverlässigen Labor-Bond-Station zur Aushärtung von Flip-Chip-Klebstoffen kann die Verklebung im Produktionsprozess von RFID-Anwendungen optimal simuliert werden. Die Maschine verfügt über eine obere und untere Thermode mit unabhängiger Temperaturkontrolle. Da das Substrat bei Temperaturen über 180 °C Schrumpferscheinungen während der Aushärtungstests aufwies, wurde eine Temperatur von 180 °C als maximale Aushärtungstemperatur festgelegt (siehe Tabelle 1). Nach der Aushärtung und vor den mechanischen und klimatischen Tests wurden die Muster bei Raumtemperatur (20 - 25 °C) für 24 h gelagert.

Klebstoff	obere Thermode/°C	untere Thermode/°C	Aushärungszeit/s	Bondkraft/N
DELO-MONOPOX MK055	180	170	10	3
DELO-MONOPOX AC265	180	170	10	2
DELO-MONOPOX AC VE42878	180	170	8	2

Tabelle 1
Aushärtungsparameter

Ausführliche Tests in den DELO-Labors

Um das Verhalten von PET-Al-Substraten von Intune in Kombination mit NCP- und ACP-Klebstoffen von DELO zu bewerten, wurden verschiedene Labortests bei DELO durchgeführt: Dazu gehört der Die-Shear-Test, der die mechanische Festigkeit prüft.

Gemessen wird die Kraft, mit der ein geklebter Chip von der Antenne geschert wird. Pro Die-Shear-Test und Klebstoff wurden 10 Chips verwendet. Die aufgebauten Inlays wurden dazu mit einem Cyanacrylat (Sekundenklebstoff) auf einer harten Oberfläche (Polycarbonat-Stäbe) flächig fixiert. Durch diese Maßnahme wird eine Verformung des PET-Materials erheblich minimiert, was zu einer Reduzierung der eingebrachten Schälkräfte führt. Die Ergebnisse des Schertests sind damit reproduzierbarer und zuverlässiger.

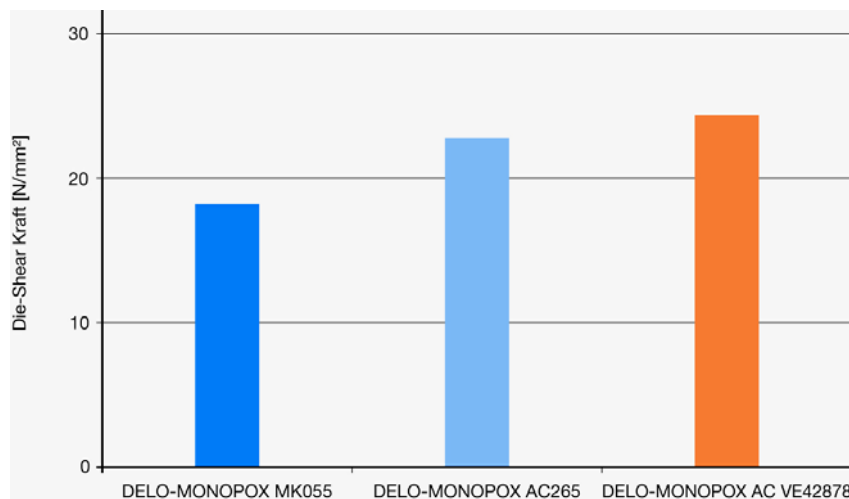


Abbildung 3:
Die-Shear-Kraft der getesteten Klebstoffe (ACP/NCP) mit den PET/AL-Substraten von Intune

Wie Abbildung 3 zeigt, weist DELO-MONOPOX MK055 im Die-Shear-Test etwas geringere Scherfestigkeiten im Vergleich zu den anderen Klebstoffen auf. Bei dem Produkt MK055 wird jedoch ein größerer Halbleiterchip verwendet, d.h. der verbleibende Schälereffekt ist etwas stärker ausgeprägt. Dies führt in diesem Fall zu etwas niedrigeren Werten. Im Vergleich zu anderen am Markt erhältlichen RFID-Substraten sind die erreichten Scherfestigkeiten aber als sehr gut zu bewerten: Nach internen Benchmarks von DELO werden 10 N/mm² bei Produkten einmaliger Verwendung (z.B. Tickets) als Standard vorausgesetzt, sowie 15 N/mm² für Anwendungen mit höheren Anforderungen und größerer Beanspruchung, z.B. bei Reisepässen. Beide Kriterien wurden in den Tests bei allen Substrat-Klebstoff-Kombinationen erreicht. Die erzielten hohen Festigkeiten stellen eine sehr gute mechanische Verankerung des Chips auf der Antenne sicher und bilden somit den Ausgangspunkt für erfolgreiche Testergebnisse zu Temperatur- und Feuchteinlagerungen.

Die Lebensdauer einer Verklebung wird durch unterschiedliche Klimaprüfverfahren simuliert. Dazu wurden die aufgebauten Inlays einerseits bei 85 °C und 85 % rel. Luftfeuchtigkeit bis zu 504 h eingelagert sowie Temperaturschockzyklen zwischen -40 °C und +85 °C unterzogen. Grundsätzlich sind weitere Qualifizierungstests direkt beim Kunden empfehlenswert, da das Leistungsverhalten immer von den konkret verwendeten Materialien (Chip, Substraten) sowie den lokalen Produktionsbedingungen und -parametern abhängt.

Auch der Temperaturwechsel ist im praktischen Einsatz entscheidend, da RFID-Anwendungen im Waren- und Lieferverkehr unter den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen zuverlässig funktionieren müssen. Hier hat sich der Temperaturschocktest bewährt, bei dem mehrere Zyklen zwischen -40 °C und +85 °C durchgeführt wurden.

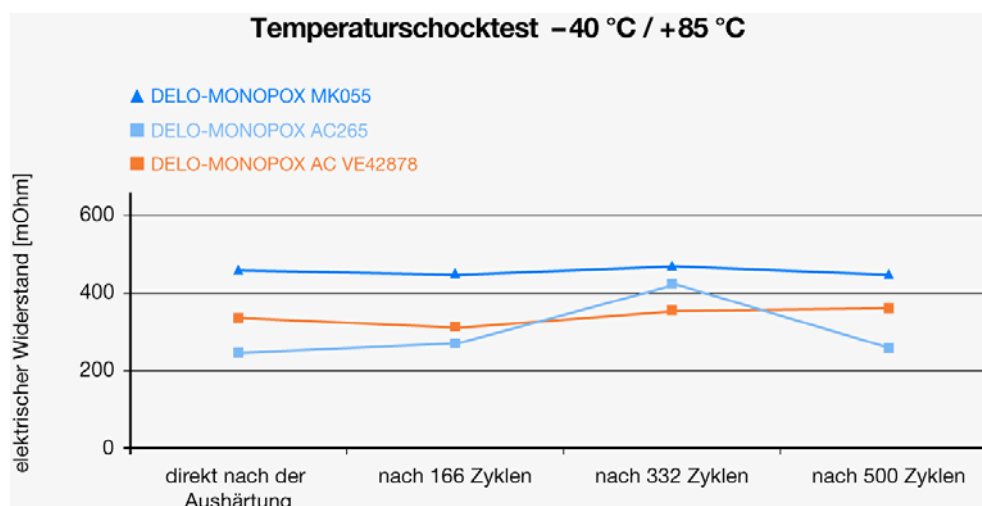


Abbildung 4:
Elektrischer Widerstand im Temperaturschocktest -40 °C / +85 °C

Abbildung 4 beschreibt das Verhalten des elektrischen Widerstands des Inlays im Verlauf der durchgeführten Schockzyklen. Beide Klebstoffvarianten, der MK055 als NCP-Klebstoff sowie die ACPs DELO-MONOPOX AC265 und AC VE42878, zeigen ein sehr stabiles Verhalten auf einem entsprechend niedrigen Niveau des elektrischen Widerstands. Wesentlich für die Beurteilung ist das gleich bleibende Widerstandsniveau über die Anzahl der Zyklen. Der Peak bei 332 Zyklen des AC265 ist auf einen Ausfall eines Teiles aufgrund des manuellen Aufbaus zurückzuführen.

Zusätzlich wurde mit den Substraten auch ein so genannter 85/85-Klimatest durchgeführt (Abbildung 5). Mit diesem Schnelltest wird der elektrische Widerstand gemessen. Die Einlagerung bei 85 °C und 85 % relativer Luftfeuchte hat sich als kritischster

Zuverlässigkeitstest gezeigt, da hier Klebstoffeigenschaften wie geringe Feuchteaufnahme, hohe Adhäsion, geringe Neigung zur Unterwanderung auf dem relevanten Substrat und hohe Festigkeiten besonders beansprucht werden. Die Widerstände wurden nach einer Einlagerungszeit von 168 h, 336 h und 504 h gemessen.

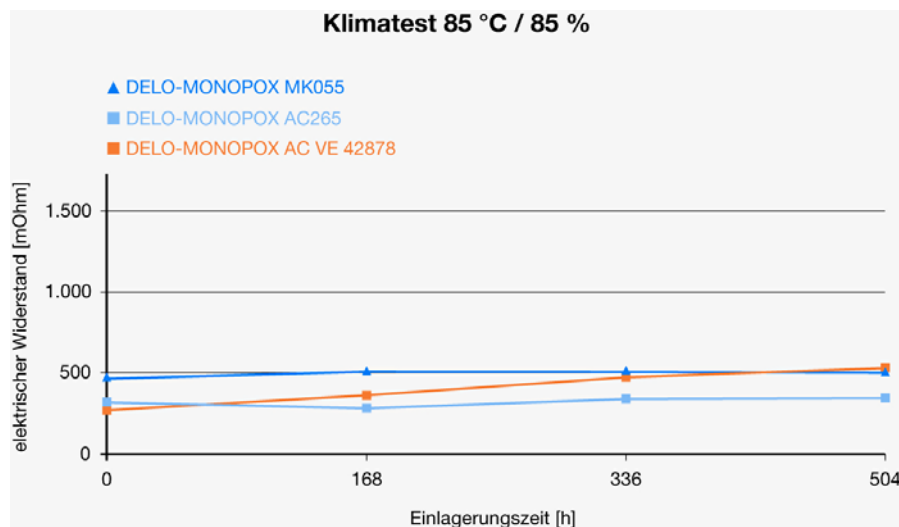


Abbildung 5:
85/85-Klimatest

Insbesondere die ACPs DELO-MONOPOX AC265 und AC VE 42878 schneiden gut ab: DELO-MONOPOX AC265 zeigt keine wesentliche Veränderung des elektrischen Widerstands auch nach 504 h Lagerung unter 85/85-Bedingungen. Dies ist ebenfalls bei dem MK055 der Fall, der die Basis für den verwendeten Klebstoff bildet, wenn es um Chips mit Palladium-Bumps geht. Der leichte Anstieg der Widerstandswerte des AC VE 42878 ist auf sein beschleunigtes Reaktionsverhalten im Vergleich zum AC265 zurückzuführen. Der Klebstoff durchläuft die Vernetzungsreaktion schneller, die Phase der Wechselwirkung zum Antennensubstrat ist kürzer. Daher ist die Anfälligkeit gegenüber physikalischen Einflüssen durch die feuchte Umgebung ausgeprägter. Dennoch ist die Performance als sehr gut und stabil zu bezeichnen.

Verhalten von Substrat und Klebstoff in den Produktionstests

Die Verarbeitung der Antennen, in Rollenform auch Tape genannt, mit DELO-Klebstoffen wurde auf einer RFID-Produktionsanlage der Firma Mühlbauer untersucht und bewertet.

Temperatur obere Thermode	180 °C
Temperatur untere Thermode	180 °C
Thermodenkraft	0,5 N
Thermodenart	niedrige Kraft
Aushärtungszeit	10 sec
Verwendeter Klebstoff	DELO-MONOPOX AC265
Verwendeter IC	EPC 1.19
Geräte	Mühlbauer FCM Light

Tabelle 2: Produktionsparameter

Die Verarbeitung des Tapes auf der Mühlbauer FCM Light-Anlage stellte grundsätzlich kein Problem dar. Lediglich die Vakuumpalte der Dispensstation musste angepasst werden, um das zur Kamera reflektierte Licht zu verbessern (Vision System zur Positionierung). Abhilfe konnte durch die Verwendung einer weißen Vakuumpalte geschaffen werden. Die Antennenstruktur konnte dadurch ausreichend kontrastreich aufgelöst werden, um das von der Bilderkennung gesteuerte Dispensieren des Klebstoffes reproduzierbar auch bei höchsten Durchsätzen zu gewährleisten. Nach der Klebstoffaushärtung für 10 Sekunden mit 180 °C / 180 °C im Final Bonder kam es auf Grund der Hitzeeinwirkung auf das Tape zu einer leichten Deformation in der Mitte des Tapes. Die Krümmung war sichtbar, ist aber als normal zu betrachten.

Testergebnisse zeigen gute Verträglichkeit

Gemäß den Labortests werden keine Wechselwirkungen des getesteten ACP-Klebstoffes mit den verwendeten Materialien festgestellt. Jedoch zeigten die Tests, dass die PET-Folie bei Temperaturen über 180 °C schrumpft. Die Die-Shear-Tests in den Laboruntersuchungen ergaben Werte von 18 – 24 N/mm². Nach Erfahrungen mit Substraten anderer Hersteller können die erreichten Die-Scher-Kräfte im Vergleich zu anderen am Markt erhältlichen RFID-Substraten als sehr hoch eingeschätzt werden.

DELO

Fachartikel

DELO's interne Benchmarks betragen 10 N/mm² bei Produkten einmaliger Verwendung (z. B. Tickets) und 15 N/mm² für Anwendungen mit höheren Anforderungen wie Reisepässen. Beide Kriterien wurden in den Tests erfüllt.

Die auf einem Epoxy basierenden Harze DELO-MONOPOX MK055 (NCP) und DELO-MONOPOX AC265 (ACP; 2,5 µm Ni/Au-Partikel) sowie der beschleunigte AC VE 42878 (2,5 µm Ni/Au-Partikel) zeigen ein konstantes Verhalten des elektrischen Widerstands nach einer Lagerung bei -40 °C/ 85 °C für 500 Zyklen nach einer Lagerung bei 85 °C/ 85 % r. F. für 504 Zyklen. Beide Tests ergaben, dass kleine und harte, d. h. 2,5 µm Ni/Au-Partikel, am geeignetsten sind um die Aluminiumoxidschichten zu durchdringen.

Die Untersuchungen und Tests belegten ein ausgezeichnetes Leistungsverhalten auf PET-Al-Antennen von Intune im Vergleich zu Substraten anderer Hersteller. Die Produktionstests ergaben eine einfache Verarbeitung des Tapes auf der Mühlbauer FCM Light-Anlage. Vor dem Einsatz der beschriebenen Materialkombination in einem Produktionsprozess sind jedoch die Ergebnisse nochmals zu überprüfen und weitere Tests durchzuführen, da die Grundsatzuntersuchung eine volle Qualifikation durch den Endanwender nicht ersetzt.

Insgesamt kann man nach den durchgeführten Tests die Schlussfolgerung ziehen, dass RFID-Tags, die mit der Anlage FCM Light von Mühlbauer, Intunes Substraten und DELO's handelsüblichen Klebstoffen DELO-MONOPOX MK055 (NCP) und DELO-MONOPOX AC265 (ACP) verarbeitet wurden, eine ausgezeichnete Leistung erbringen. Als „Plug-and-Play“-Lösung können die Partner damit gemeinsam die optimale Systemlösung für den Kunden durch ihr spezielles Know-how anbieten. Von der maßgeschneiderten Lösung profitiert der Kunde immens: Schnell aushärtende Klebstoffen, Antennensubstrate in bester Qualität und Maschinen, die optimal in den Produktionsprozess integriert werden können und die auf die Produkte abgestimmt sind, gewährleisten eine effiziente Produktion: So sind bereits jetzt kürzeste Taktzeiten und die Produktion von 15.000 – 20.000 Stück pro Stunde möglich.

Ca. 15.000 Wörter
02/2008