

# Verfahren zur Produktion von UHF-Labels auf laserstrukturierten Substraten

Dipl.-Ing. Thomas Fahlbusch<sup>1)</sup>, Dipl.-Ing. René Herschmann<sup>2)</sup>, Dr.-Ing. Michael Camp<sup>3)</sup>, Dr. Dieter Meier<sup>4)</sup>, Dr.-Ing. Marc Hüske<sup>4)</sup>, Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Universität Hannover, Inst. für Transport- und Automatisierungstechnik, Schönebecker Allee 2, 30823 Garbsen

<sup>2)</sup> Universität Hannover, Inst. für Hochfrequenztechnik und Funksysteme, Appelstr. 9a, 30167 Hannover

<sup>3)</sup> Smart Devices GmbH & Co. KG, Schönebecker Allee 2, 30823 Garbsen

<sup>4)</sup> LPKF Laser & Electronics AG, Osterriede 7, 30827 Garbsen

## Kurzfassung

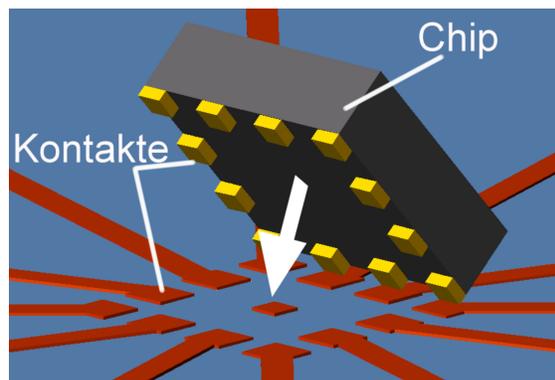
Das Laserstrukturierungsverfahren bietet die Möglichkeit, geometrisch hochqualitative Leiterbahnstrukturen herzustellen. Dieses Verfahren kann Strukturbreiten und Strukturabstände von unter 15 µm erreichen. Die Produktion kann dabei im Rolle-zu-Rolle-Verfahren erfolgen. Die schnelle Prozesszeit ermöglicht die Verarbeitung eines 1000 m langen Bandes in weniger als 15 min. Mit einem nachgeschalteten Galvanikprozess können somit kleberlose Antennen- oder Interposersubstrate auf verschiedenen Trägermaterialien erstellt werden. Die Herstellung und die Aufbau- und Verbindungstechnik zur Bestückung dieser Substrate mit Flip-Chip-Technologie, ist Gegenstand des folgenden Artikels. Als Verbindungsprozess wird dabei das Klebebonden mit non-conductive Adhesive (NCA) und Anisotropic-conductive-Adhesive (ACA) untersucht.

## 1 Einleitung

Die Produktion für konsumgütertaugliche Funketiketten (Smart Label), wie sie ihren Einsatz in den Supermärkten finden sollen, sucht nach Lösungen für die Low-Cost Fertigung. Der internationale Trend geht dabei in Richtung von UHF-Labels (Ultra High Frequency). Mit diesen lassen sich größere Lesereichweiten als mit der bisher verwendeten Funkfrequenz von 13,56 MHz erzielen [4]. Eine hochfrequente Übertragung stellt jedoch höhere Anforderungen an das Antennendesign, die Antennenstrukturierung sowie die Kontaktierung des Chips mit der Antenne. In einer Kooperation der Industriepartner LPKF Laser & Electronics AG, OTB Oberflächentechnik in Berlin GmbH & Co. KG, SDS Smart Devices System GmbH & Co KG und dem Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) wurde ein neues Verfahren zur Produktion von adaptierbaren Low-Cost UHF Labels entwickelt. Die Firma SDS entwickelte dabei ein optimiertes Antennendesign, welches von der Firma LPKF durch ein Laserstrukturierungsverfahren in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess hergestellt wird. Die Firma OTB verfügt über einen Prozess und die Anlagentechnik, mit dem es möglich ist, Kupfer in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess abzuscheiden. Hierdurch wird die Metallisierungsschichtdicke an die Anforderungen angepasst. Für das so erzeugte Basissubstrat wird am ITA ein Verbindungsprozess im Rolle-zu-Rolle-Verfahren entwickelt. Im Folgenden wird dieses Verfahren vorgestellt und diskutiert.

### 1.1 Grundlagen Flip-Chip

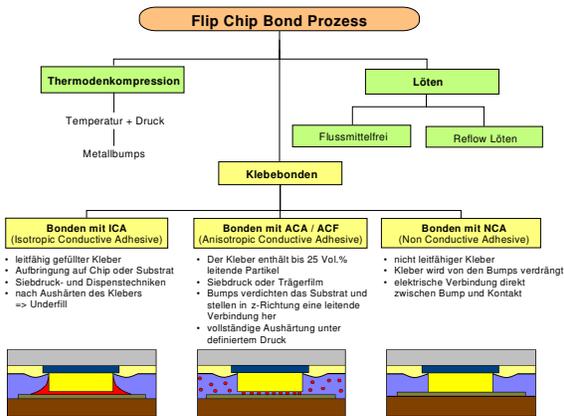
Beim Flip-Chip-Verfahren wird der Chip gedreht und direkt mit der kontaktbehafteten Seite auf das Substrat platziert. Auf dem Substrat befindet sich ein spiegelsymmetrisches Layout der Chipkontakte (Bumps), so dass bei genauer Platzierung die Kontaktflächen von Chip und Substrat exakt aufeinanderliegen (siehe **Bild 1**).



**Bild 1** Flip-Chip-Verfahren

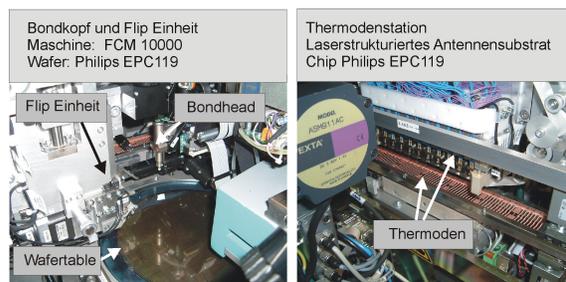
Der physikalische Zusammenhalt von Chip und Substrat sowie der Schutz der elektrischen Verbindung erfolgt über einen geeigneten Klebstoff. Eine Übersicht über die möglichen Flip-Chip-Verfahren ist in **Bild 2** zu sehen. Am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik werden dabei für den Low-Cost Bereich (z.B. die Smart Label Produktion) die Klebe-

bondverfahren Bonden mit NCA und Bonden mit ACA eingesetzt. Die wesentlichen Prozessvorteile dieser Verfahren liegen in der minimalen Anzahl der nötigen Prozessschritte zur Erstellung eines fertigen Moduls.



**Bild 2** Übersicht der Flip-Chip-Verfahren nach [1]

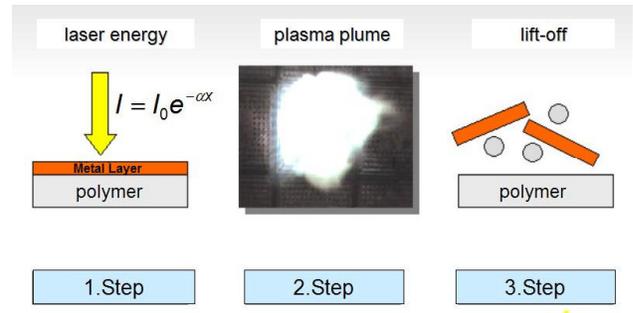
Die Bestückung der strukturierten Substrate erfolgt auf der institutseigenen Flip-Chip-Montagelinie FCM 10.000 der Firma Mühlbauer. Mit optimierten Prozessparametern ist es hiermit möglich, bis zu 10.000 Chips in der Stunde mit Flip-Chip-Technologie zu verarbeiten und mit einem Thermoden-Klebebondverfahren zu kontaktieren. Hierzu wird auf dem Antennensubstrat an der Bondposition ein Klebstofftropfen aufgetragen. In dieses Klebstoffdepot wird der umgedrehte (geflippte) Chip platziert. In einem folgenden Prozessschritt wird der Chip unter dem beheizten Thermodenfeld (siehe **Bild 3**) auf die Kontaktpads der Antenne gepresst. Hierbei wird der Klebstoff unter den Bumps verdrängt und das als Klebstoff verwendete Epoxydharz härtet aus.



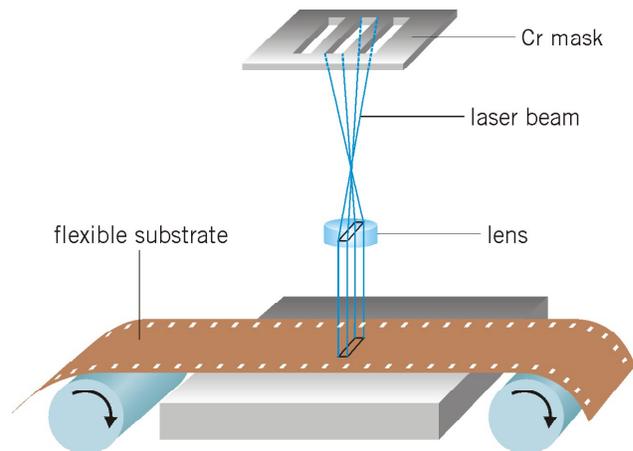
**Bild 3** Das Thermodenfeld härtet die Klebeverbindung unter Druck und Temperatur aus

## 2 Laserstrukturierung

Excimerlaser sind auf Grund ihrer hohen Photonenenergie in der Lage, dünne metallische Schichten auf polymeren Substraten mit Hilfe des Maskenprojektionsverfahrens zu ablatieren und damit zu strukturieren (siehe **Bild 4**). Der Laserstrahl wird dabei durch optische Elemente zu einem top-hat Profil aufgeweitet, so dass eine Fläche von ca. 30 x 10 mm entsteht (siehe **Bild 5**). Diese Strahlung durchdringt die dünne Metallschicht und verdampft die ersten Moleküllagen des Substratmaterials.



**Bild 4** Prinzip der Laserstrukturierung



**Bild 5** Schema der Rolle-zu-Rolle-Fertigung mit dem Laserstrukturierungsverfahren

Durch die entstehende Volumenvergrößerung wird die darüber liegende Metallschicht explosionsartig abgesprengt. Dieses Verfahren kann Strukturbreiten und Strukturabstände von unter 15 µm erreichen. Die UV-durchlässige Maske kann problemlos in einem Maskenshop für Si-Wafertechnologie hergestellt werden. Als Substratmaterialien eignen sich alle polymeren Werkstoffe, wie Polyester, Polyimide und Polycarbonate. Zur Laserablation kommen Metallschichten (Cu, Ni, Au und Al), die durch Verdampfung oder Sputtern hergestellt werden können, zum Einsatz. Die Schichtstärke dieser Metalle liegt bei max. 150 nm. **Bild 6**

zeigt eine Rolle-zu-Rolle-Anlage, wie sie von der Firma LPKF Laser & Electronics AG produziert wird.

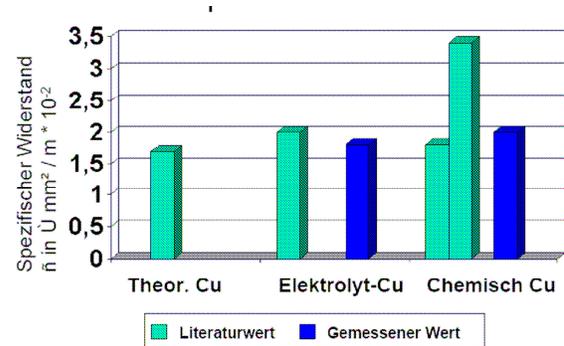


**Bild 6** Das Thermodenfeld härtet die Klebeverbindung unter Druck und Temperatur aus

Diese Anlage ist mit einem Excimer-Lasersystem ausgerüstet, das bei einer Wellenlänge von 308 nm (XeCl) arbeitet. Im Rolle-zu-Rolle-Verfahren werden dabei höchste Durchsätze erreicht. Die gezeigte Anlage kann mit einem Meter/sec ablatieren. Die Ablationszeit pro Schuss liegt unter 25 nsec. Ein 1000 m langes Band kann somit in weniger als 15 min ablatiert werden und macht diese Technologie gerade für die Massenfertigung (RFID-Sektor) attraktiv.

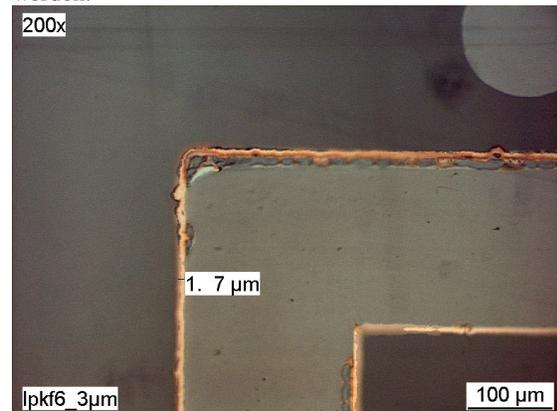
### 3 Aufgalvanisierung

Sollten anwendungsbedingt stärkere Schichten bis zum Mikrometerbereich erforderlich sein, so können diese Strukturen durch chemisch-stromlose oder galvanische Prozesse auf die gewünschte Stärke ebenfalls mit Hilfe eines Rolle-zu-Rolle-Prozesses verstärkt werden. Hierauf hat sich die Firma OTB (Oberflächentechnik in Berlin) spezialisiert. Die erreichten spezifischen Widerstände der abgeschiedenen Kupferschichten sind in **Bild 7** dargestellt. Für die angestrebte Low-Cost Fertigung wurde die Galvanisierung im Rolle-zu-Rolle-Verfahren gewählt. Die Vorteile dieses Verfahrens gegenüber dem erwähnten stromlosen Verfahren liegen hauptsächlich in der höheren Prozessgeschwindigkeit, einer besseren Fehlertoleranz gegenüber verbleibenden Laserdebris und einer besseren Kontrollmöglichkeit der Galvanikanlage. Ein Nachteil kann bei komplexen Layouts in der unterschiedlichen Abscheidungsrate aufgrund eines variierenden Spannungspotentials entstehen.



**Bild 7** Leitfähigkeit der abgeschiedenen Kupferschichten [2]

Für die Rolle-zu-Rolle-Produktion von flexiblen Schaltungsträgern wurde eine Hochdruckwasserstrahlreinigungsanlage, zur Entfernung von Laserdebris, dem Galvanik-Prozess vorgeschaltet. In **Bild 8** ist ein Ausschnitt einer aufgalvanisierten Struktur zu sehen. Da es sich bei dem Trägermaterial um klares, hitzestabilisiertes PET-Substrat handelt, kann eine einfache Qualitätskontrolle der aufgalvanisierten Kupferschichtdicke durch eine mikroskopische Betrachtung der Rückseite erfolgen. Wie in **Bild 8** zu erkennen ist, kann die abgeschiedene Kupferschicht mit der Bildverarbeitung des Mikroskops vermessen werden.



**Bild 8** Kante der abgeschiedenen Kupferschicht

### 4 Ziele und Parameter

Die Ziele und Parameter zur Realisierung eines markt-reifen UHF-Labels auf Basis der vorgestellten Technologie lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Beste UHF Verbindung => Bestimmung der Lesereichweite mit einem UHF-Reader.
- Geringe Belastung des Basissubstrats => Das verwendete Tape soll durch den Prozess keine Änderungen erfahren.
- Höchster Durchsatz => Niedrigste Taktzeit bei bester mechanischer und elektrischer Festigkeit.

- Niedrige Kosten => Chipkosten, Kleberkosten, Tapekosten und Produktionskosten bewerten.

## 5 Modulbestückung

Die zu untersuchenden laserstrukturierten Module wurden zunächst mit Daisy-Chain fähigen Testchips und anschließend mit funktionsfähigen UHF-Chips bestückt. Eine Übersicht der Eigenschaften und geometrischen Abmessungen ist in **Tabelle 1** dargestellt.

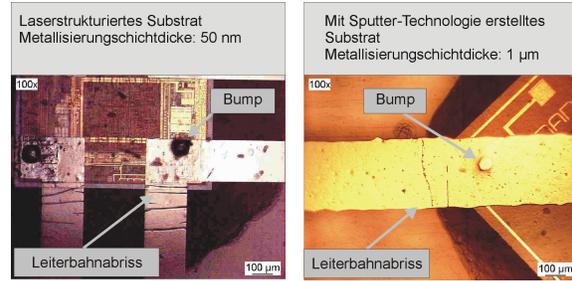
ISIT D 100			
Wafer Format	6"	Pad Geometrie	90 x 90 $\mu\text{m}^2$
Waferdicke	auf 250 $\mu\text{m}$ gedünnt	Anzahl Pads	12
Die-Größe	1 x 1 mm <sup>2</sup>	Pitch	250 $\mu\text{m}$
Besonderheiten	Daisy Chain fähig	Pad Metall	AlCu 0,5
Bumps	NiAu/Stud		
ISIT RF-ID			
Wafer Format	6"	Pad Geometrie	150 x 150 $\mu\text{m}^2$
Waferdicke	auf 250 $\mu\text{m}$ gedünnt	Anzahl Pads	große 2 kleine 8
Die-Größe	1,45 x 1,48 mm <sup>2</sup>	Pitch	1540 $\mu\text{m}$
Besonderheiten	Daisy Chain fähig	Pad Metall	AlCu 0,5
Bumps	NiAu/Stud		
Phillips EPC119			
Wafer Format	8"	Pad Geometrie	60x60 $\mu\text{m}$
Waferdicke	auf 150 $\mu\text{m}$ gedünnt	Anzahl Pads	4
Die-Größe	0,91 x 0,84 mm <sup>2</sup>	Pitch	547.475 $\mu\text{m}$
Besonderheiten	Funktionsfähiger Chip		
Bumps	Au 18 $\mu\text{m}$		

**Tabelle 1** Eigenschaften der verwendeten Chips

### 5.1 Testsubstrat

Die Verwendbarkeit von laserstrukturierten Substraten für die Rolle-zu-Rolle-Montage wurde zunächst mit einem Daisy-Chain Testchip und einem vom ITA hierfür entwickelten Testsubstrat untersucht (**Bild 10**). Ziel war es, die direkte Kontaktierung auf einem laserstrukturierten Substrat ohne Aufgalvanisierung zu untersuchen. Für diese Versuche wurden NiAu Bumps, Stud Bumps, nicht leitfähiger Kleber (NCA) sowie anisotrop leitfähiger Kleber (ACA) verwendet. Die Goldschicht der Substrate hatte dabei eine Schichtdicke von 50 nm.

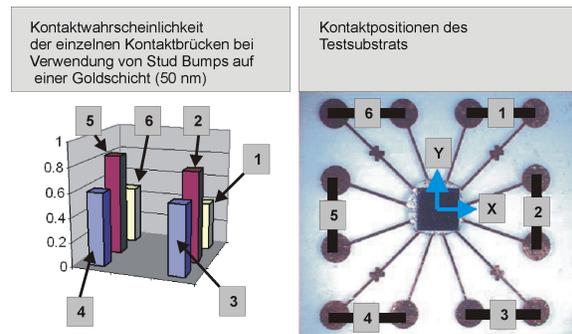
Eine Kontaktierung mit NiAu Bumps und NCA war nicht reproduzierbar möglich. Als Ursache für die nicht erfolgreiche elektrische Verbindung ergaben sich zwei unterschiedliche Versagensmechanismen. Bei einem relativ dicken Polystyrolträgerband kam es zu einem Abriss der elektrischen Leiterbahn aufgrund des Durchstanzens der NiAu Bumps durch die sehr dünne Goldschicht. Durch eine Reduzierung der Bondkraft auf 1 N lässt sich dieser Effekt verhindern; es wird dann jedoch kein elektrischer Kontakt hergestellt.



**Bild 9** Leiterbahnabrisse bei unterschiedlichen Substraten

Eine Verringerung der Verformbarkeit des Substratmaterials unter den Bumps wurde durch einen wesentlich dünneren PET-Träger erreicht. Aufgrund des geringeren Federweges des Substrates konnte damit die Stanzwirkung der Bumps verhindert werden. Es zeigte sich jedoch, dass an anderen Stellen Spannungsrisse in den Leiterbahnen auftraten. Die Spannungsrisse in **Bild 9** traten außerhalb des Bondbereiches auf. Der Effekt der Leiterbahnabrisse war ebenfalls an einen 1  $\mu\text{m}$  dicken Kupfersubstrat, welches mit Sputter-Technologie strukturiert wurde, festzustellen.

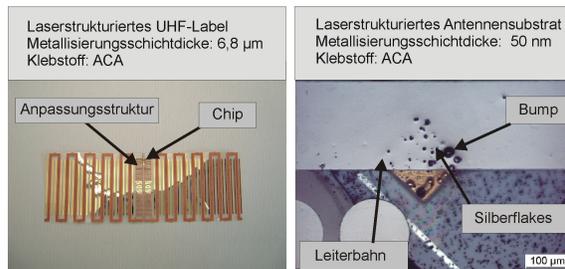
Ein weiterer Einflussfaktor für die elektrische Verbindung zwischen Bump und Basissubstrat ist die Bumpgeometrie. Es wurde daher alternativ die Verbindung unter Verwendung von Stud-Bumps untersucht. Mit diesem Bumpstyp ist es einfacher, den Klebstoff zwischen Bump und dem Kontaktpad auf dem Basissubstrat zu verdrängen. Eine Kontaktierung des dünnen Goldsubstrates ist hiermit möglich. Eine zuverlässige Kontaktierung aller Kontaktpunkte konnte jedoch nicht erzielt werden. Der ohmsche Widerstand lag bei diesen Versuchen zwischen 70-90 Ohm. Die Kontaktwahrscheinlichkeit aus einer Versuchsreihe mit 100 Chips ist in **Bild 10** dargestellt.



**Bild 10** Kontaktwahrscheinlichkeit bei der Verwendung von Stud Bumps und laserstrukturiertem Gold ohne Aufgalvanisierung

Die zuverlässigsten Kontaktierungsergebnisse ergaben sich bei der Verwendung von NiAu Bumps und anisotrop leitfähigem Klebstoff (ACA). Eine Mikroskop-

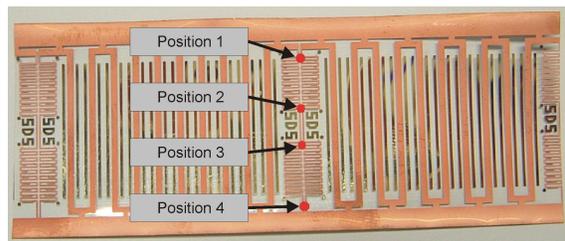
aufnahme dieser Verbindung ist in **Bild 11** dargestellt. Der Vorteil gegenüber dem NCA Prozess ist, dass mit einer weitaus geringeren Bondkraft kontaktiert wird und somit ein Durchstanzen bzw. eine zu starke Dehnung der Leiterbahn verhindert werden kann. Das 50 nm dünne Goldsubstrat kann mit dieser Technologie zuverlässig kontaktiert werden. Bei Prozessparametern von 120°C, 1 N sowie einer Bondzeit von 15 Sekunden konnte ein ohmscher Widerstand von 90-140 Ohm erreicht werden.



**Bild 11** Kontaktierung mit NiAu Bumps und anisotrop leitfähigem Klebstoff (ACA)

## 5.2 Antennensubstrat

Für eine Versuchsserie wurde von der Firma SDS GmbH & Co KG ein Antennendesign mit einer Impedanzanpassungsstruktur entwickelt. Auf diesem Antennensubstrat sollte durch eine Variation der Bondposition (siehe **Bild 12**) auf der Anpassungsstruktur eine Adaption des Smart Labels an verschiedene Umgebungen erfolgen.



**Bild 12** Untersuchte Bondpositionen auf der Antennenstruktur

Die direkte Verwendung von laserstrukturierten Substraten ist aufgrund der geringen Metallisierungsschichtdicke nicht möglich. Die Stromtragfähigkeit der so produzierten Antennenstrukturen reicht für eine RFID Übertragung nicht aus. Versuche mit kontaktierten EPC119 Chips führten erwartungsgemäß zu keinen funktionsfähigen Transpondermodulen. Aus diesem Grund wurden auf das Substrat unterschiedliche Kupferschichtdicken galvanisch mit dem beschriebenen strombehafteten Rolle-zu-Rolle-Prozess aufgetragen.

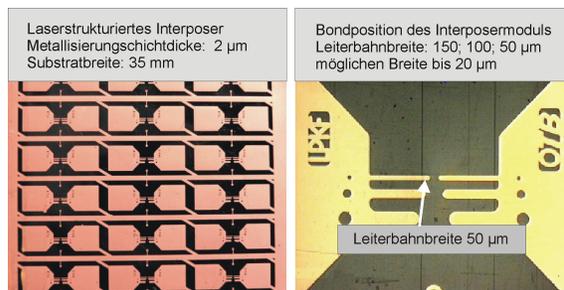
Die untersuchten Schichtdicken lagen zwischen 1 µm und ~ 7 µm.

Die Qualitätsanforderungen an die Aufgalvanisierung hinsichtlich gleichmäßiger Schichtdicke sind hierfür sehr hoch. Bei einem strombehafteten Prozess muss sichergestellt werden, dass sich auf den häufig sehr komplexen Antennenformen eine einheitliche Metallschicht abscheidet. Ein stromloser Abscheidungsprozess ermöglicht eine einheitlichere Schichtdicke. Jedoch können hiermit nicht so hohe Aufwachsrate wie bei der strombehafteten Galvanik realisiert werden. Daher fiel die Wahl auf die strombehaftete Galvanik. Bei der sehr dünnen Aufgalvanisierung von 1 µm waren insbesondere im Bereich der Anpassungsstruktur der Antenne starke Schwankungen der Schichtdicke der abgeschiedenen Kupferschicht festzustellen. Dies lässt sich über die schlechte Stromtragfähigkeit der nur 50 nm dicken Goldschicht und die in diesem Bereich stark vom Rest der Antenne abweichende Länge der Leiterstruktur begründen. Bei den Schichtdicken 3,1 µm und 6,3 µm ergab sich eine homogenere Kupferschicht. Die Herstellung von funktionsfähigen UHF-Antennen war dabei mit allen Substraten möglich. Die Anzahl an funktionsfähigen Modulen bei einer Aufgalvanisierung von 1µm war jedoch sehr gering, zusätzlich lagen die erzielten Reichweiten nur bei 10 cm. Eine Veränderung dieses Verhaltens ließ sich weder durch andere Klebstofftypen noch durch eine Veränderung der Bondposition erreichen.

Mit dickeren Kupferschichten von 3,1 µm und 6,3 µm ließen sich wesentlich bessere Ergebnisse produzieren. Als beste Bondposition (siehe **Bild 12**) erwies sich dabei die Position 4. Bei den anderen Positionen kam es zu einer verringerten Reichweite des erstellten Transpondermoduls. Von Seiten der Aufbau- und Verbindungstechnik wurden unterschiedliche Klebstoffe getestet. Die besten Ergebnisse ließen sich mit anisotrop leitfähigem Klebstoff erzielen. Der verwendete Klebertyp verfügt über eine wesentlich verkürzte Aushärtezeit. Dies ist für die Produktion eines Low Cost Labels ein entscheidender Kostenfaktor. Da der Aushärteprozess bei den im Vergleich zu den Interposer-Modulen relativ großen Antennenstrukturen direkt durchsatzbestimmend ist, bedarf es einer geringen Aushärtezeit. Dieser Klebstoff ist sowohl als NCA als auch als ACA verfügbar. Hiermit ist es möglich, zuverlässig die Antennenstruktur zu kontaktieren, wobei sich bei Verwendung eines ACA die besten Übertragungreichweiten erzielen ließen. Die Prozessstemperatur von 120 °C und Aushärtezeit unter den Thermoden von 10 Sekunden führte zu keiner Veränderung des verwendeten PET-Trägermaterials. Ein nachgeschalteter Härteofen ist bei diesen Prozessparametern nicht notwendig.

Die untersuchten Antennenstrukturen verfügen über einen Pitch von 43,5 mm. In der aktuellen Maschinenkonfiguration ist es möglich, drei Module in einem Finalbondschritt zu härten. Dies reduziert den Durch-

satz der Maschine erheblich. Es wird aufgrund des Thermodenprozesses in Verbindung mit der langen Antennenstruktur nur ein Durchsatz von 1080 Antennen pro Stunde erreicht. Dies führt zu einem Kostenanstieg des Einzelmoduls. Ein ähnlicher Effekt tritt bei der Laserstrukturierung und der nachgeschalteten Galvanisierung auf. Die hohe geometrische Güte wird dabei über die komplette Antennenstruktur erzeugt. Zur Vermeidung von parasitären Kapazitäten unterhalb des Chips aufgrund von zu großen Metallflächen bedarf es lediglich der Feinstleiterstrukturierung dieses Bereiches. Daher liegt es nahe, die hier vorgestellte Technologie zur Erzeugung von Interposern, wie sie bereits in der Produktion von UHF-Labels eingesetzt werden, zu nutzen. Hierbei kann das vorgestellte Verfahren seine Vorteile ausspielen, ohne an unnötigen Stellen hohe Produktionskosten oder Einschränkungen in der Taktzeit zu verursachen. In **Bild 13** ist eine solche Interposererlösung zu erkennen. Die Metallfläche unterhalb des Chips wird dabei stark reduziert, da lediglich eine Leiterbahnbreite von 50  $\mu\text{m}$  zur Kontaktierung notwendig ist. Die Weiterverarbeitung der so produzierten Interposer erfolgt mit am Markt verfügbarer günstiger Maschinenteknik. Der Interposer wird dabei mit der restlichen Antennenstruktur durch einen Klebe- oder Crimp-Prozess kontaktiert. Die Antennenstruktur kann dabei z.B. sehr kostengünstig durch drucktechnische Verfahren erzeugt werden. Diese können jedoch nicht die Leiterbahndimensionen des vorgestellten Verfahrens erreichen.



**Bild 13 Interposer für die Fertigung von UHF-Antennen auf 35 mm breiten Substrat[2]**

## 6 Zusammenfassung

Die Erzeugung einer elektrisch leitfähigen Flip-Chip-Verbindung auf laserstrukturiertem Substrat ist möglich. Mit geeigneten Prozessparametern lassen sich elektrische Kontakte erstellen. Dabei konnten ohmsche Widerstände von 60 Ohm erstellt werden. Die Erzeugung von UHF-Labels auf der 50 nm dünnen Metallisierungsschicht ist aufgrund der zu geringen Stromtragfähigkeit jedoch nicht möglich. Die für die Stromtragfähigkeit verantwortliche metallische Schichtdicke kann durch einen anschließenden galva-

nischen Prozess vergrößert werden. Ab einer Aufgalvanisierungsschichtdicke von 1  $\mu\text{m}$  ließen sich funktionsfähige UHF Labels produzieren. Mit einem geeigneten Antennendesign, welches die geometrisch hervorragenden Eigenschaften der Laserstrukturierung nutzt, lassen sich hiermit metallische Antennenstrukturen mit Leiterbahnbreiten weit unter 100  $\mu\text{m}$  realisieren. Die durchgängige Fertigung und Verarbeitung auf Rolle-zu-Rolle-Anlagen bildet die komplette Prozesskette zur industriellen Produktion von Smart Labels mit dieser Technologie ab. Die Prozesszeit für die Produktion eines solchen Systems ist jedoch aufgrund der großen geometrischen Abmessung eines Labels sehr hoch. Hier bedarf es noch einer Untersuchung, ob durch die im Vergleich zur Interposer-Lösung geringere Anzahl der Kontaktierungspunkte eine Verbesserung der Antenneneigenschaften erzielt wird. Das vorgestellte Verfahren bietet sich jedoch ebenfalls zur Produktion von Interposern für die Weiterverarbeitung mit üblichen Verfahren an. Hierbei erweist sich besonders die Möglichkeit der Feinstleiterstrukturierung als Vorteil.

## 7 Literatur

- [1] Reichel, H.: Direktmontage Handbuch für die Verarbeitung ungehäuster Ic's. Springer Verlag Berlin 1998
- [2] Osterwald, S.: Metallisierung laserstrukturierter Feinstleiter. DBU Trends und Anwendungen bei flexiblen Schaltungen. Nov. 2004
- [3] Hüske, M.: A novel Laser-based Method to manufacture RFIDs; Workshop on Laser Applications in Europe. Dresden. Nov. 2005
- [4] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. Carl Hanser Verlag München. Sep. 2002