



3 SMT + CADS 1

Lasergestützte Prozesslösungen für die Aufbau- und Verbindungstechnologie der nächsten Packaging Generation

Schwerpunktthema
Inspektion

Interconnects:
Chip-Skalierung im BEOL

Embedded:
Tracealyzer 4.4 für Embedded Linux



Lasergestützte Prozesslösungen für die Aufbau- und Verbindungstechnologie der nächsten Packaging Generation

Matthias Fettke, PacTech - Packaging Technologies GmbH, Nauen

Neue Technologieschwerpunkte im Rahmen der Aufbau- und Verbindungstechnik wie μ LED, Heterogenous Integration, Cubing, Ultra-Thin Flex, Embedded Packaging, Optical-Package etc. prägen neben den Diskussions- und Podiumsveranstaltungsinhalten auf Kongressen und Messen, vor allem die Wachstumsanalysen und -prognosen der technischen Rating-Agenturen. Ziel vieler Unternehmen im Bereich des Chip Size Packagings (CSP) ist es, passende Prozesslösungen zu entwickeln und anzubieten, die die hochkomplexen Anforderungen dieser neuen Technologien nach einer effizienten Fügetechnik erfüllen.

Als weltweit führendes Unternehmen im Bereich des Wafer-Bumpings & Advanced Packagings mit zugehöriger Maschinenbauparte beschäftigt sich die PacTech GmbH bereits seit 1995 mit der Entwicklung innovativer lasergestützter Prozesstechnologien sowie der Herstellung und dem Vertrieb entsprechender maschineller Systemlösungen.

Die Hauptproblematik konventioneller Fügetechnologien, wie beispielsweise dem Thermokompressionsbonden (TCB), dem Thermosonic Wire Bonding (TS) oder dem Fügen mittels Ofenreflows liegt in der Ein-

bringung hoher thermischer Lasten sowie, im Falle von TCB und TS-Bonding, zusätzlich in einer Kraftbeaufschlagung während des Anbindungsvorganges.

Allen gemein ist das Risiko der Erzeugung mechanischer Verspannungen in den Kontaktverbindungen, wie auch in der gesamten Baugruppe, identifizierbar primär in Form von lokalen und globalen Ebenheitschwankungen (Warpage), Positionsabweichungen der Fügeflächen zueinander, Spannungsrissen in den intermetallischen Phasen und Delaminationseffekten der Umverdrahtungsflächen (RDL) sowie An-

bindungsfehlern in den Kontakten und an den individuellen Kontaktflächenübergängen zum Zielsubstrat.

Die Folgen sind Leitungsverluste, beschränkte Einsatzfähigkeit und reduzierte Lebensdauererwartungen des Endproduktes.

Es wird seitens der Maschinenhersteller viel unternommen, um mit zusätzlichen prozesstechnischen Mitteln diese Problematik zu lösen bzw. zu kompensieren. So finden sich in vielen konventionellen Bondern beispielsweise beheizbare Substrataufnahmen oder eine beheizbare Prozess-

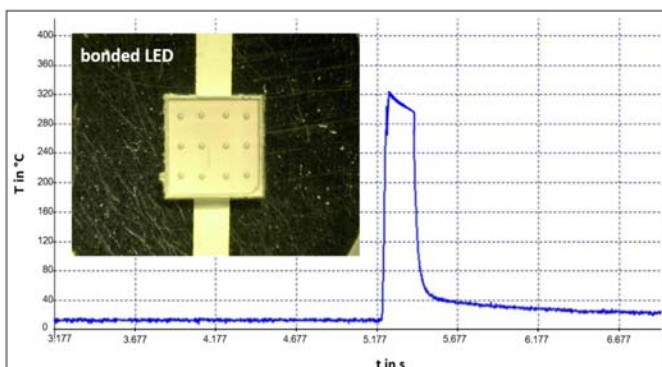


Abb. A1: Laserreflowprofil eines LED Assembly

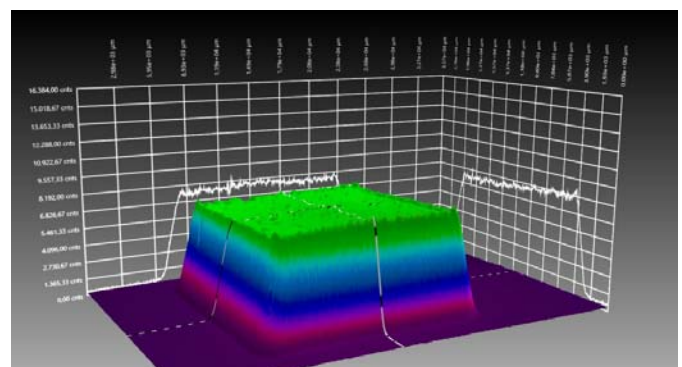


Abb. A2: Laserleistungsdichteverteilung für LED Assembly



Abb. A3: IMC-Struktur einer 40 µm Cu-Pillar LAB Anbindung

gaszufuhr, die einerseits den Temperaturunterschied beim Fügen der Komponenten minimieren und andererseits die thermische Last durch beheizte aktive Prozessgase reduzieren. Mit fortschreitender Miniaturisierung und neuen Materialkombinationen kommen diese Ansätze aber zunehmend an ihre Grenzen, insbesondere bei der Kopplung von sehr dünnen organischen und anorganischen Materialien bei zeitgleicher Verringerung der Kontaktflächengeometrien auf wenige µm oder beim Fügen von Vollmetallanbindungsflächen (z.B. Kupfer zu Kupfer).

Hieraus begründet sich der zunehmende Anspruch nach einem thermischen & mechanisch minimal invasiven Wechselwirkungsprinzips beim Fügevorgang.

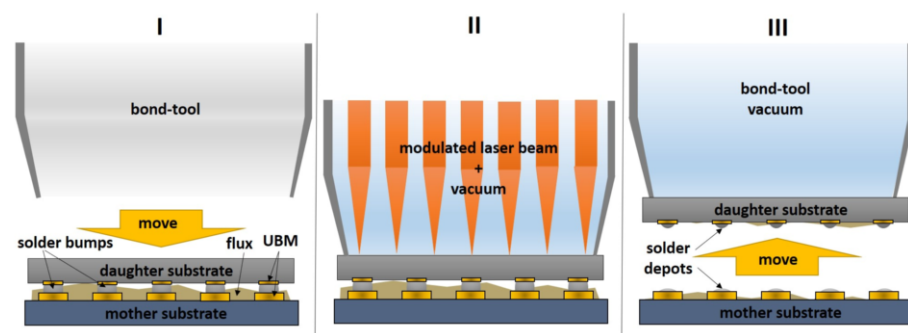


Abb. B1: Prozessprinzip des lasergestützten Entfernens von defekten Bauelementen

Als führende Kompetenz im Bereich des laserunterstützten Bondings von Lotkugeln und Halbleiterbauelementen sieht PacTech den Schlüssel hin zu einem ortsorientierten, stressarmen und selektiven Fügen in der optischen Einbringung der notwendigen Energie mittels Laser. Neben den sehr kurzen Wechselwirkungszeiten von unter 1 Sekunde ist der Hauptvorteil, dass die optische Energie durch die richtige Wahl der Wellenlänge, unter Berücksichtigung der optischen Absorptionskoeffizienten des zu fügenden Bauelementes, direkt in die Fügezone eingekoppelt werden kann. Damit

entfallen die hohen thermischen Lasten, die Stresseinwirkung wird folglich vermieden und Diffusionsvorgänge an den Grenzflächen auf ein Minimum reduziert, was bei sehr kleinen Fügeflächen von unter 1 µm, in beispielsweise optoelektronischen Aufbauten, zwingend erforderlich ist.

Abbildung A1 zeigt ein charakteristisches Laserreflowprofil und Abbildung A2 die zugehörige modulierte Leistungsdichteverteilung des Laserstrahls für die kraftlose Kontaktierung einer 1,1 mm x 1,1 mm x 150 µm blauen InGaN Leuchtdiode mit einer 3 µm Sn20Au80 Lotschicht auf einem Ag beschichteten Cu-Leadframe. Der Fügevorgang ist innerhalb von 250 ms abgeschlossen.

Bei dem zu vergleichenden konventionellen TCB Prozess verläuft der 8 Sekunden andauernde Bondvorgang bei 280 °C unter einer Kraftbeaufschlagung von 1 Kilogramm ab. Das Trägersubstrat wird parallel auf über 200 °C vorgeheizt, um die thermischen Verluste durch Wärmeleitungseffekte zu kompensieren. Die Einbringung der benötigten Prozessenergie erfolgt nicht direkt an den Fügeflächen, sondern über das zu fügende Bauelement, welches faktisch zur Thermode umfunktioniert wird. Die beschriebenen Prozessgrößen und Abläufe zeigen exemplarisch die Überlegenheit der optischen Einkopplung, bezüglich der thermischen Last gegenüber den kon-

ventionellen Wärmeleitungsprinzipien durch das gesamte Bauteil. Hinzu kommt eine vorteilhaftere Ausprägung der intermetallischen Phase (IMC) zu einer deutlich kleineren fingerförmig verlaufenden Struktur (Abbildung A3). Untersuchungen zeigen, dass diese Laserreflow charakteristische intermetallische Phase höhere Lebensdauererwartungen durch geringeres Phasenwachstum aufzeigt.

Diese Vorteile im thermischen und dynamischen Wechselwirkungsprinzip während des Fügevorganges des LAB Prozes-

ses, bei gleichzeitig höherer Lebensdauerprognose, findet im Prozessportfolio der Firma PacTech weitreichende Anwendung. Einige der neueren Realisierungsformen werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt:

LAPLACE LAdB --> LASER ASSISTED DE-BONDING

Durch Änderungen in der Prozesssequenz unseres etablierten lasergestützten Bondverfahrens (LAPLACE LAB) von Mikrochips konnten innovative Lösungen zum Entfernen defekter Bauelemente und ganzer Baugruppen (z.B. SoP, SiP, PoP etc.) entwickelt werden. Ein Prozessprinzip des lasergestützten Entfernens (LAPLACE LAdB) von defekten Halbleiterbauelementen und Baugruppen ist in Abbildung B1 skizziert.

Für den Reparaturvorgang wird im ersten Schritt das Bondtool auf das defekte Halbleiterelement (daughter substrate) platziert und mittels Vakuum beaufschlagt. Im zweiten Schritt wird der auf die Baugruppe in Wellenlänge und Leistungsdichteverteilung abgestimmte Laserpuls aktiviert und in die Fügegrenzfläche i.d.R. Lotbumps eingekoppelt. Innerhalb weniger ms verflüssigen sich die Lotverbindungen, welche im dritten Schritt durch eine vertikal ausgeführte Achsenbewegung des Bondtools separiert werden. Die instantane Zufuhr von Stickstoff verhindert während der flüssigen Phase die Oxidbildung.

Die Vorteile gegenüber den herkömmlichen Reparaturlösungen, die entweder auf mechanisch abrasive Prozesse, wie z.B. Läppen und Polieren beruhen oder Thermodenprozesse, die massiven Wärmelasten in den Gesamtverbund induzieren, sind offensichtlich; denn durch die minimal invasive Einbringung der Wärmeenergie können weder angrenzende funktionelle Chipschichten noch Passivierungs- und Metallisierungslagen beschädigt werden. Unsere Untersuchungen zeigen, dass unter Verwendung von Flussmittel oder speziellen Prozessgasen das Restlotdepot eine



Abb. B2: Entfernung eines defekten POP mittels LAPLACE LAdB

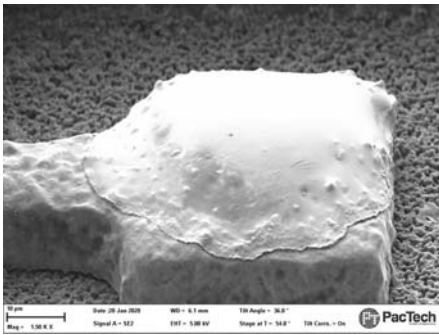


Abb. B3: Restlotstruktur auf dem PCB Kontakt eines getrennten Chip on Board Assembly

Qualität annimmt, auf dem unmittelbar ein neuer Chip platziert werden kann (Abbildung B2).

Außerdem können mit dieser PacTech Technologie selbst Chips mit einer Cu-Pillar Grenzfläche bis zu viermal repariert werden, bevor eine Veränderung bezüglich Qualität, Zuverlässigkeit und Lebensdauer zu erwarten ist. Abbildung B3 zeigt das Restlotdepot auf dem Flexboard einer Chip on Board getrennten 40 µm Cu-Pillar Verbindung.

Dies erfordert auch eine hinreichende Präzision des Bondsystems. PacTech bietet hier unter anderem die multifunktionale LAPLACE Bondplattform "Genesis" an, die durch die Kombination hochpräziser Achsensysteme, einem einzigartigem Erkennungsmechanismus und Ausrichtalgorithmus sowie einem Nanopositioniersystem eine Positioniergenauigkeit im sub-µm erreicht (Abbildung B4).



Abb. B4: LAPLACE-GENESIS Bondplattform

**SB²-WB -->
LASER SOLDERED WIRE BONDING**

Alle herkömmlichen Drahtbondprozesse wie thermosonic- (TS), ultrasonic- (US) oder thermocompression bonden (TC) ha-

ben die Einbringung hoher mechanischer Kräfte (30-90cN) oder thermischer Lasten (100-250 °C) in die Fügegrenzfläche gemein. Anwendungen auf brüchigen Materialien, wie GaAs, PZT-Keramiken, organischen Dünnschichten (<20 µm) wie beispielsweise in einem MCM-D-type Package oder schwingungsempfindliche Pins können nicht verlässlich bzw. reproduzierbar mit einem konventionellen Drahtbond versehen werden. Hinzu kommt die Problematik, dass beim EFO (Electric Flame-Off) sowie beim Ultraschall induzierten Verschweißen die Materialstruktur des Drahtes transformiert wird. Charakteristisch dafür ist das sogenannte "neck-break" Fehlerbild bei Drahtzugversuchen.

Um die Problematik zu überwinden, hat PacTech das SB²-WB Drahtbondverfahren entwickelt. Kern dieser innovativen Lösung zur Erzeugung alternativer stressarmer Drahtverbindungen auf Chipebene oder Substratlevel bildet die Kombination des einzigartigen SB²-Jet Solder-Jetting Prinzips mit einer Drahtfördereinheit. Das vereinfachte Funktionsprinzip ist in Abbildung C1 illustriert.

Der Draht wird relativ zur Solder-Jet Kapillare auf die zu kontaktierende Anschlussfläche gefördert. Nahezu synchron zum Förder- und Drahtpositioniervorgang wird eine verflüssigte Lotkugel auf den Draht appliziert. Das Lot ummantelt den Draht und verbindet diesen mit dem darunterliegenden Kontakt. Der Prozess ist somit im Vergleich zu den Konkurrenzverfahren als mechanisch kontaktlos zu bewerten, denn die durch die Lotkugel auftretende Kraft liegt im µN Bereich. Der Fügevorgang läuft durch den Einsatz des Lasers in einem Zeitregime unter 10 ms ab. Anschließend wird der Draht zum korrespondierenden Anschluss gezogen, bei Bedarf mit einem Loop versehen und analog zum ersten Kontakt mittels Lotkugel gefügt. Abschließend erfolgt die Trennung mittels Klinge, Abreißen oder dosiertem Laserpuls. Alternativ zu den konventionellen Verfahren kann der Draht auch ohne Unterbrechung und ohne Änderungen des Drahtquerschnitts zu anderen Kontaktstellen weitergeführt und gebondet werden.

Ein Anwendungsbeispiel zeigt Abbildung C2, in dem die Drahtverbindung von schwingungsempfindlichen Pins mit einem LTTC Trägersubstrat dargestellt ist. Abbildung C3 zeigt eine lateral verlaufende SB²-WB Drahtverbindung auf einer Sensorgehäusefläche.

Auch mit dem SB²-WB Verfahren lassen sich die typischen Loop-Formen des Bonddrahtes erzeugen. Beim SB²-WB Prozess

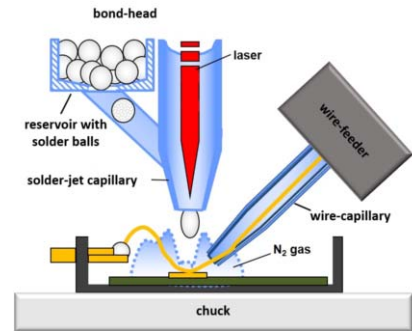


Abb. C1: Prinzip des SB²-WB Prozesses

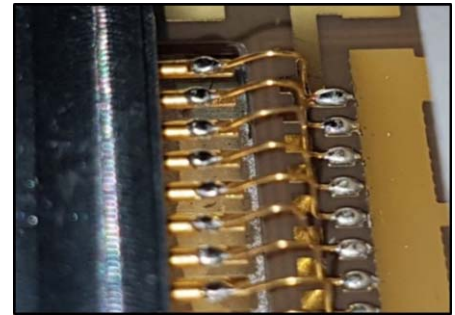


Abb. C2: SB²-WB Drahtverbindungen in einem Steckermodul



Abb. C3: SB²-WB Drahtverbindungen auf Sensorgehäuse

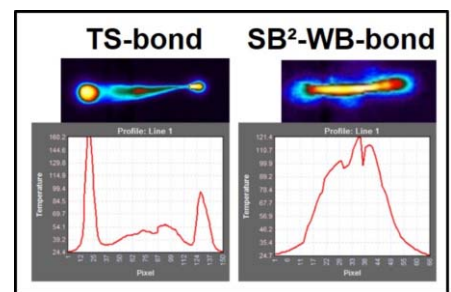


Abb. C4: optische Temperaturmessung im Belastungsfall (FHG-ENAS)

kann vorteilhafterweise die geometrische Gestaltung der Drahtverbindung aber so gewählt werden, dass der Draht direkt lateral aus der Lotanbindung ohne vertikalen Anteil geführt wird. Somit ist die Baugruppenhöhe dieser Variante kleiner als die von ULL (Ultra-Low-Loop) oder SSB (Stand-off-Stitch Bond) Lösungsansätzen bei den konventionellen Drahtbondverfahren. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die

Erwartungen in Stabilität und Lebensdauer im Anwendungstemperaturbereich der Weichlote und in Abhängigkeit vom Verhältnis des gewählten Drahtdurchmessers und Lotkugelvolumens analog und sogar höher liegen können als die der konventionellen Drahtbondverfahren. Im Rahmen einer Stromtragfähigkeitsuntersuchung beispielsweise konnte eine vorteilhaftere Wärmeverteilung identifiziert werden (Abbildung C4).

Der Vorteil des SB²-WB Verfahrens, die Materialstruktur des Drahtes durch thermomechanische Effekte nicht zu verändern, begründet das in Abbildung C4 dargestellte Ergebnis. Ein weiterer Vorteil liegt in der leichten Reparierbarkeit defekter Anbindungen, da diese einfach abgelötet und erneuert werden können. Bedingt durch die kurzen Laserreflow charakteristischen intermetallischen Phasen kann dieser Vorgang mehrmals wiederholt werden ohne mit einem Performanceverlust der Baugruppe konfrontiert zu werden. Das neuentwickelte SB²-WB kann Drähte im Bereich von 15 µm - >500 µm fördern und fügen. Der kleinste zu realisierende Pitch lässt sich mit 40 µm beziffern. Alle gängigen lötbaren Drahtmaterialien lassen sich zuverlässig mit einer Geschwindigkeit von bis zu 6 Bonds/s fügen.

SB²-JET MACRO SOLDER BALL BUMPING

Auch im klassischen Bereich der Bestückungstechnik von bedrahteten Bauelementen mittels Durchsteckmontage (THT through hole technology) sind alternative Lösungen gefordert, um die technischen Nachteile beim Wellen-, Selektiv- oder Handlöten für die zukünftigen Generationen an Leiterplatten für bestimmte Applikationen zu überwinden. Im Fokus der PacTech liegt hier vor allem der Wegfall von Flussmitteln und die daraus resultierende Einsparung von Reinigungsschrit-

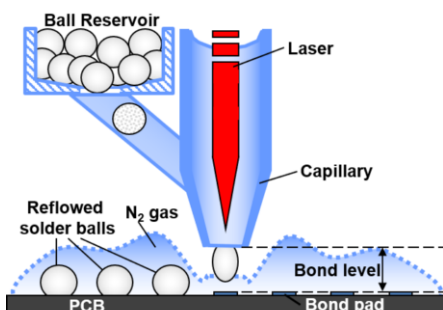


Abb. D1: Prinzip des SB²-Jet Prozesses

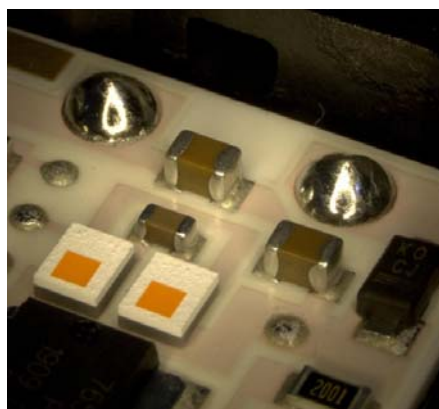


Abb. D2: THT Kontaktpinlötung im Gehäuse eines Scheinwerferlichtmoduls

ten, die Fügung kleinerer Drahtabstände für höhere Packungsdichten und das Löten von schwer zugänglichen Kontaktstellen. Daher hat PacTech sein Spektrum an applizierbaren Lotkugelgrößen im Bereich von 30 µm - 760 µm erweitert und bietet nun auch Prozessgrößen von bis zu 2000 µm an, um den Bedarfsvolumen der Durchsteckmontage gerecht zu werden.

Das vereinfachte Prozessprinzip des SB²-Jet Verfahrens bleibt auch bei den sehr großen Lotkugeln erhalten (Abbildung D1).

Die Lotkugeln werden in einem speziellen Bondkopf vereinzelt und der Kapillare zugeführt. Der Lochdurchmesser der Kapillaröffnung ist kleiner als der Kugeldurchmesser, so dass folglich die Kugel in der Kapillarspitze forciert stecken bleibt. Mittels Laserpuls wird die Lotkugel aufgeschmolzen und unter Stickstoffdruck aus der Kapillare auf den Bondkontakt appliziert. Auf der Kontaktfläche bildet sich bedingt durch die Oberflächenspannung wieder eine Kugelform (Lotbump) aus.

Die vorteilhafte Prozesscharakteristik bleibt auch bei den sehr großen Lotkugeln uneingeschränkt erhalten. Die lokale, selektive und flussmittelfreie Fügung aus einem Abstand von bis zum 5-fachen des ver-

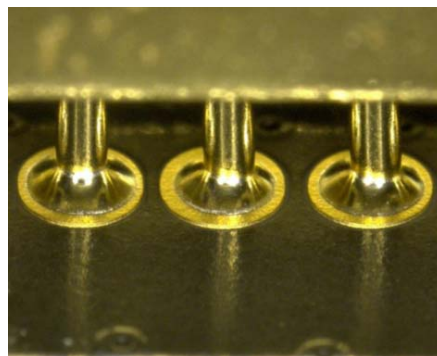


Abb. D3: THT Steckergehäuselötung durch Leiterplatte



Abb. D4: SB²-Jet Dual Bonder

wendeten Lotkugeldurchmessers bietet den Herstellern von leiterplattenbasierten Produkten neue Perspektiven. So kann beispielsweise die Fügung versenkt in einem Gehäuse oder zu einem Zeitpunkt in der Herstellungskette stattfinden, bei der eine Reinigung nicht mehr zulässig wäre. Die Abbildungen D2 zeigt ein Anwendungsbeispiel auf einem LTCC Träger für ein Scheinwerferlichtmodul.

Auch hier bietet die Firma PacTech ein breites Spektrum an Maschinenlösungen an. In Abbildung D4 ist exemplarisch eine Maschinenlösung für die vollautomatische Kontaktierung von Leiterplattenpanelen mit großvolumigen Lotkugeln dargestellt.

Im Inneren des Systems können entweder mehrere universelle 3-Achsensysteme ihre Arbeit verrichten oder PacTechs Roboterlösungen mit Bondkopffendeffektor integriert werden. Das System verfügt über eine Beladungs-, Transfer- und Entladeeinheit, um einen vollautomatischen Betrieb zu ermöglichen. Universelle Schnittstellen zur Datenkommunikation, RFID oder Code-Reader gehören zum Standard.

Neben den vorgestellten Prozessen und Sondermaschinen bietet das Spektrum der Firma PacTech noch eine Vielzahl weiterer innovativer und alternativer Lösungen, die individuell auf die jeweiligen Anwendungen zugeschnitten werden, um höchsten Anforderungen an Effektivität und Effizienz zu entsprechen. Unser Ziel: die aktive Gestaltung der Füge-technologien von übermorgen.

■ www.pactech.de