Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik und Zentrum für mikrotechnische Produktion

Inhalt

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

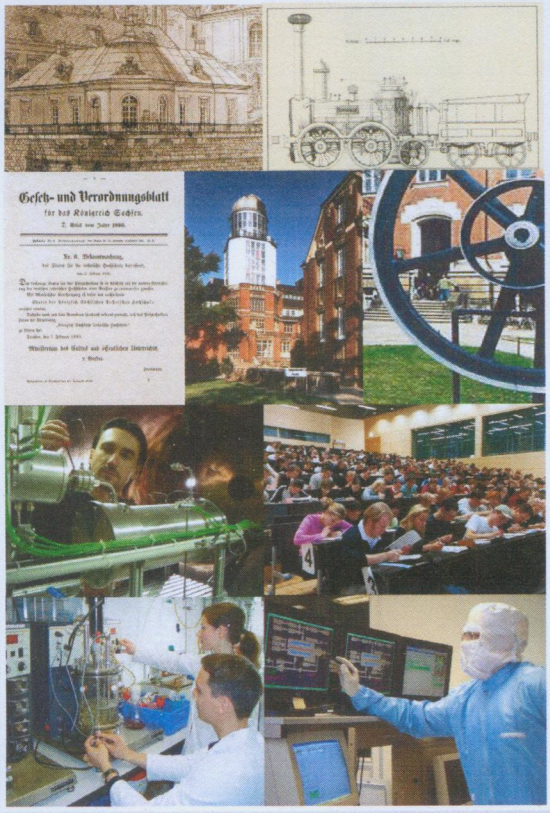
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Geschichte:

1828 gegründet als Technikum
1890 Technische Hochschule
1961 Technische Universität Dresden

Heute:

14 Fakultäten
ca. 36.000 Studenten (2009)

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

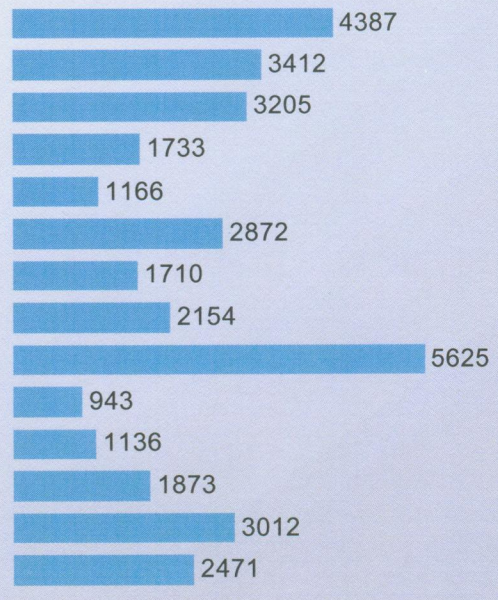
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Biotechnisches Zentrum (BIOTEC): 87
Zentrum für Internationale Studien: 166

Gesamtzahl 35.952

Stichtag: 1.12.2009

Studenten und Studienanfänger (TUD gesamt)

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

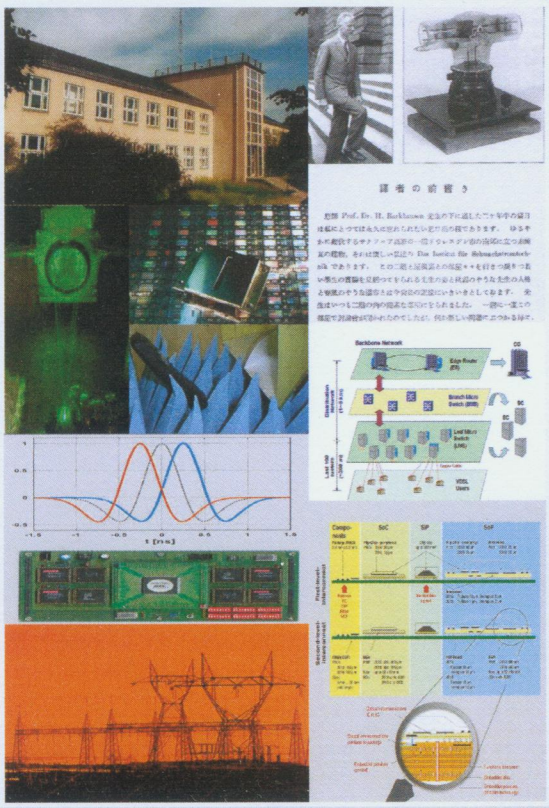
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Geschichte:

- Kurse in Elektrotechnik seit 1882
- Anfang des 20. Jahrhunderts gründeten J.Görges und H.Barkhausen Institute für Elektrotechnik bzw. Schwachstromtechnik
- 1952 war die Anzahl an Lehrstühlen für Elektrotechnik so groß, dass eine eigene Fakultät vom Maschinenbau abgespalten wurde

Heute:

- 12 Institute
- 1 zentrale wissenschaftliche Einrichtung (Zentrum für mikrotechnische Produktion)
- ~ 30 Professoren
- Wissenschaftler: ~90 Haushalt + ~160 Drittmittel
- ~90 technische Mitarbeiter
- ca. 2,200 Studenten

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
Dienst-leistungen

Institute der Fakultät	Zuordnung zu den Studienrichtungen im Studiengang Elektrotechnik
Automatisierungstechnik	Automatisierungs- und Regelungstechnik
Regelungs- und Steuerungstheorie	
Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik	Informationstechnik
Akustik und Sprachkommunikation	
Nachrichtentechnik	
Elektrotechnisches Institut	Elektroenergietechnik
Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik	
Feinwerktechnik und Elektronik-Design	Feinwerk- und Mikrotechnik
Biomedizinische Technik	
Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik	
Zentrum für mikrotechnische Produktion	Mikroelektronik
Festkörperelektronik	
Halbleiter- und Mikrosystemtechnik	

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

1990: Wiedergründung der Institute, Institut für Elektronik-Technologie (IET)
1995: Gründung des Zentrums für mikrotechnische Produktion (ZμP), Förderprojekt
1999: Installation des ZμP als zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Fakultät
2003: Konzentration der Ressourcen zur Aufbau- und Verbindungstechnik, Umbenennung des Instituts in IAVT

seit 1.10.2003:

Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik
und
Zentrum für mikrotechnische Produktion
Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Wolter
Stellvertreter: Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Zerna

- 50+ Mitarbeiter
- verantwortlich für 12 verschiedene Lehrveranstaltungen
- 1.400+m² Laborfläche

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

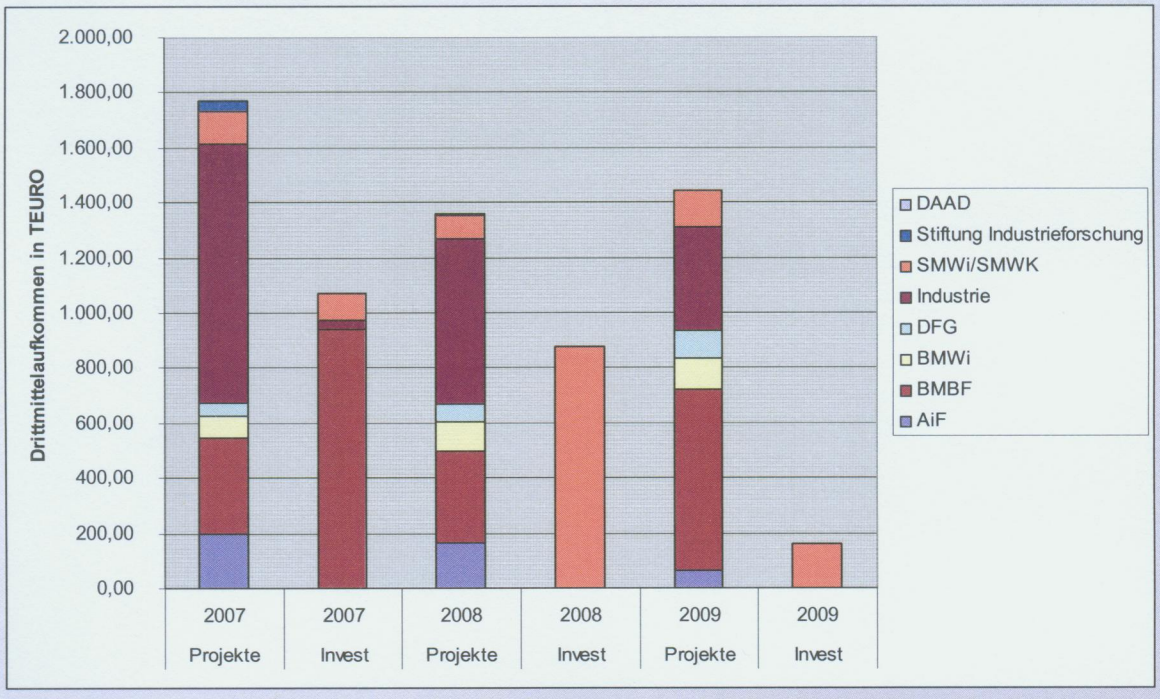
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

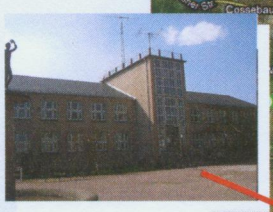
Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen

Standort 3, Räume am Fraunhofer IzfP-D Maria-Reiche-Str.

Standort 4, Räume am Fraunhofer IzfP-D Krügerstr.



Standort 1 Campusgelände Barkhausenbau

Standort 2 Campusgelände Mierdelbau

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

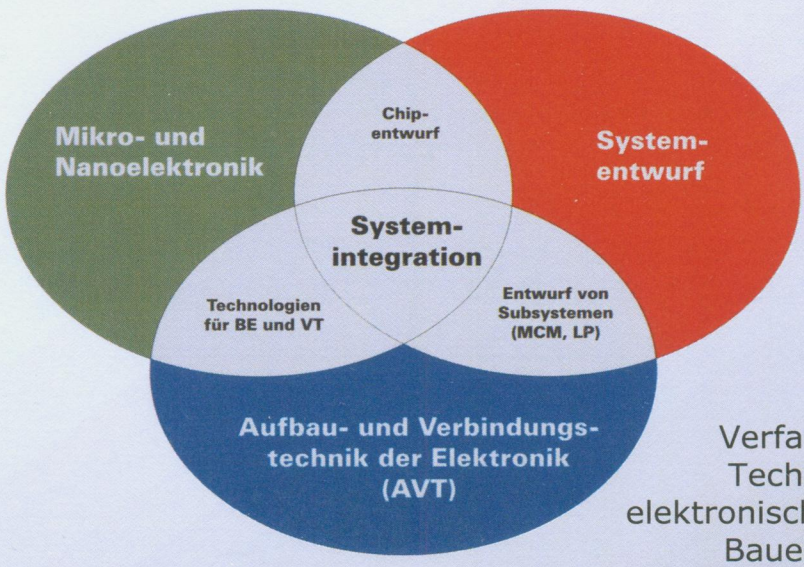
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Verfahren, Prozessabläufe und Technologien bei der Montage elektronischer und mikrotechnischer Bauelemente und Baugruppen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Biokompatible AVT PD Dr. Jürgen Uhlemann

Dickschichttechnik Dr. Marco Luniak

Optische Verbindungstechnik Dr. Ralf Rieske

Drahtbonden und Flip-Chip-Technik Prof. Thomas Zerna

Montage- und Leitkleben Dr. Angelika Paproth

Montagetechnologien Prof. Thomas Zerna

Zerstörungsfreie Prüfung Dr. Martin Oppermann

Zuverlässigkeit auf Baugruppenebene Dr. Mike Röllig

Qualitätssicherung in der Fertigung Dr. Heinz Wohlrabe

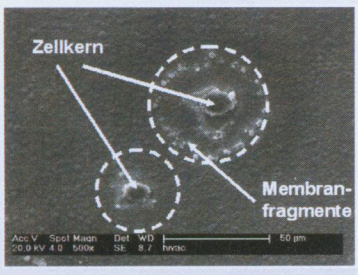
Modellierung, Simulation, Optimierung von Prozessen PD Dr. Gerald Weigert

Nachwuchsforschergruppe „Hochzuverlässige 3D-Mikrosysteme"

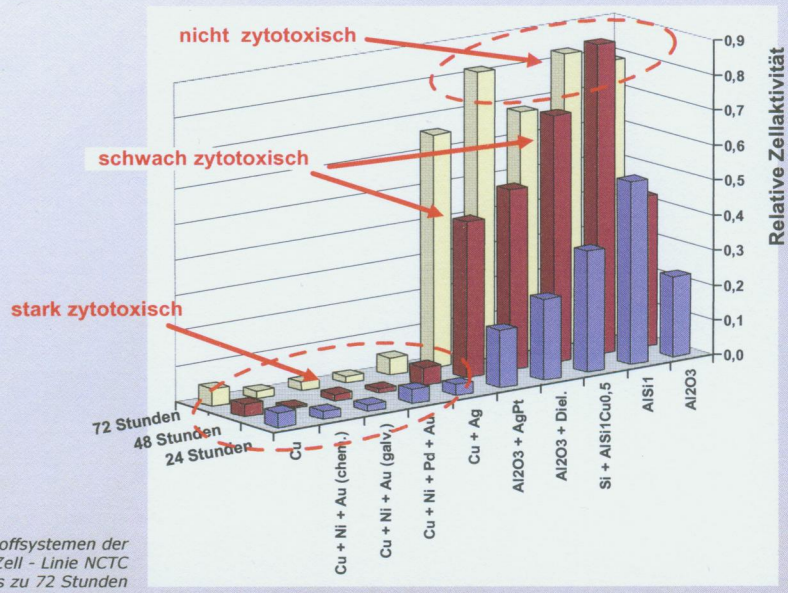
DI Karsten Meier

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Erforschung der Bioverträglichkeit der Elektronikmaterialien
- toxisches Verhalten der Materialien
- Langzeitstabilität gegenüber Degradationsprozessen
- Ermittlung geeigneter funktioneller Schutzmassnahmen für das Produkt und die biologische Seite.

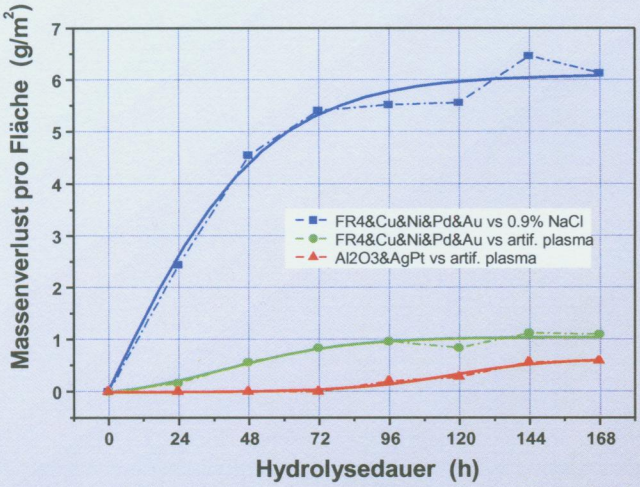


FR4 mit Lamination (E-Cu) 35µm, galvanisch verstärkt auf 50µm, 7µm chem. Ni, 250nm Pd und 60nm flash-Au, Inkubation 72 Stunden, M 500



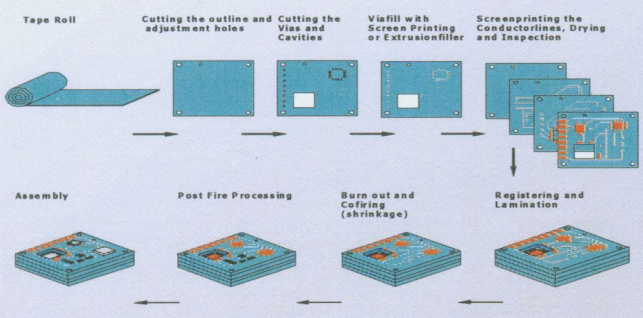
Zytotoxizitätsuntersuchung von Werkstoffsystemen der COB-Technik mit Mausfibroblasten der Zell - Linie NCTC clone 929 über Inkubationszeiten bis zu 72 Stunden

Beispiel: Fluidische Belastung von Elektronikmaterialien
•wichtiges Kriterium für die Eignung von Elektronikmaterialien in biologischen Umgebungen: chemische Beständigkeit gegenüber wässrigen Lösungen.

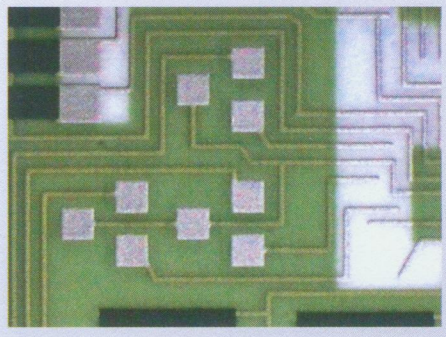


- Proben Al_2O_3 mit Dickschichtsystem AgPt und FR4 mit Goldfinish
- dynamische Versuche unter weitgehend isobaren und isothermen Bedingungen
- Belastung mit physiologischer Kochsalzlösung (0,9% NaCl), mit künstlichem Blutplasma und künstlichem cerebrospinal Liquor
- Kontaktzeiten bis 168 Stunden

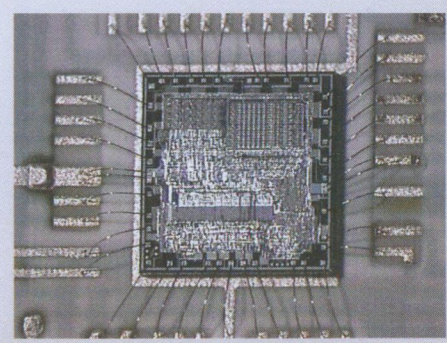
- Mehrschichttechnik auf starrer Keramik
- Mehrlagentechnik mit LTCC
  - 3D-geformte LTCC-Substrate
  - mikrofluidische Systeme mit LTCC
  - eingebettete passive Komponenten
- Applikation von Polymer-Dickschichtpasten
- Applikation von fotostrukturierten Dickschichtpasten
- Lasermaterialbearbeitung
- Montage



Prozessablauf LTCC



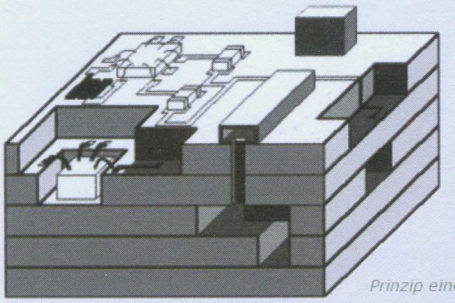
Dickschichtsubstrat (Al2O3) mit gedruckten und gebrannten Leitstrukturen



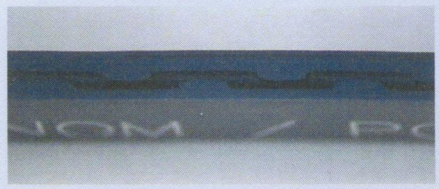
Dickschichtsubstrat mit bestücktem Chip und Drahtbondverbindungen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Komponenten für die Mikrofluidik und Sensorik
- Ceramic-MEMS (MCMs, Sensorelemente, Hybridbaugruppen)
- vergrabene Strukturen in keramischen Substraten für Spezialanwendungen (Fluidik)

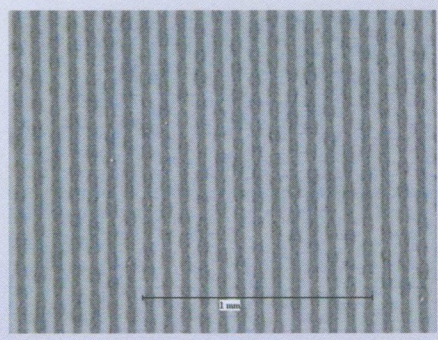


Prinzip eines LTCC-basierten Mikrofluidsystems



Schnitt durch eine LTCC-Mehrlagenkeramik mit vergrabenem Mikrokanal

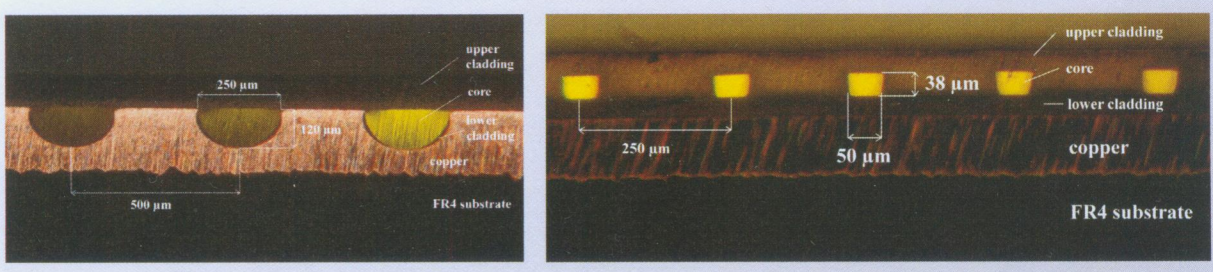
Herausforderung für zukünftige Substrate:
- Applikation von Pasten in Strukturbreiten unterhalb 40µm



Finelinedruck von Leitstrukturen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Technologieentwicklung für die Herstellung und Integration optischer Wellenleiter auf Leiterplattenebene
- Untersuchung der Prozess-Kompatibilität sowie Zuverlässigkeit
- Erforschung von Koppelkonzepten zwischen integrierten Multimode-Wellenleitern und optischen Sende- und Empfangselementen



Querschnitt von integrierten Wellenleitern nach Wellenleiter-in-Kupfer-Technologie (links) und mit photolithographisch strukturierten Wellenleitern auf Basis von ORMOCER®en (rechts)

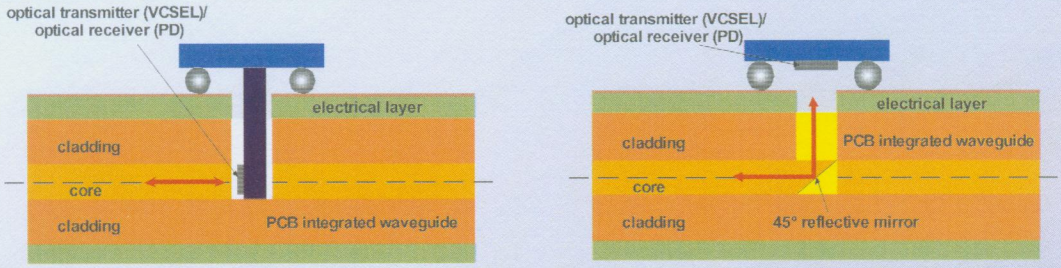
- Optischer Dämpfungsmessplatz für integrierte Multimode-Wellenleiter
- rasterndes Messverfahren, dadurch ausgezeichnete Reproduzierbarkeit der Dämpfungsmessungen
- Bewertung der technologischen Kompatibilität
- Bewertung der Zuverlässigkeit (beschleunigte Alterung)

Querschnitt eines integrierten Wellenleiters nach beschleunigter Alterung

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Koppelkonzepte:

- direkte Kopplung (ohne Umlenk- und Kollimationsoptiken, aber präzise Positionierung)
- indirekte Kopplung (Strahlumlenkung an der Wellenleiterendfläche, häufig fokussierende Elemente)



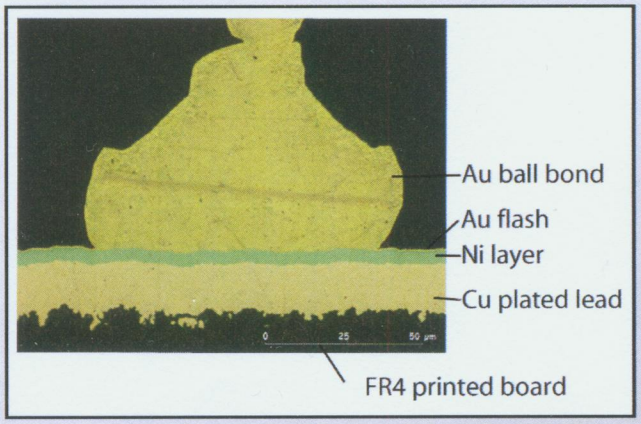
Prinzipdarstellung der Koppelstrategien, direkte Stirnflächenkopplung (links) und indirekte Kopplung mit Strahlumlenkung (rechts)

Herausforderungen:

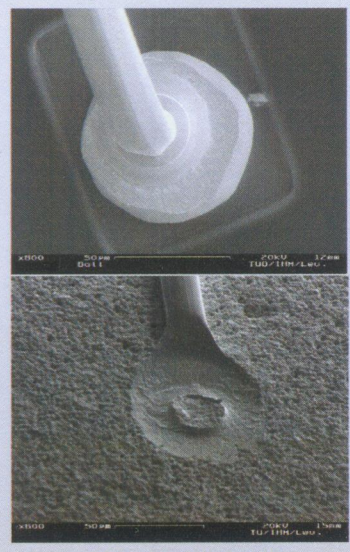
- Entwicklung von Materialien mit niedriger Dämpfung und erhöhter thermischer Stabilität
- Entwicklung schneller, großflächiger Empfänger
- Koppelstrategien für passive Justage und Oberflächenmontage
- Erweiterung der Entwurfsprogramme um spezielle Entwurfsregeln und Simulationen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

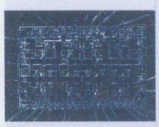
- Ultraschall- und Thermosonic-Drahtbonden
- Flip-Chip-Technik
- Untersuchungen zu Verfahrenstechnologien
- Entwicklung neuer Materialien (insbesondere neue Bonddrähte)
- Modifikation von Werkzeugen und Geräten



Querschliff durch Au-Ballbond und metallisches Mehrschichtsystem



Ballbond (oben) und Wedge-Bond (unten) mit 25 µm Au-Bonddraht



Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

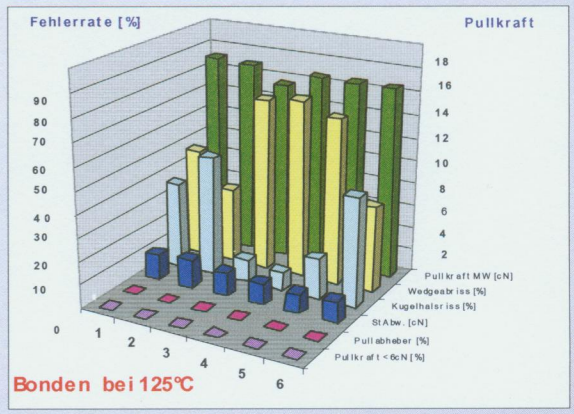
Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

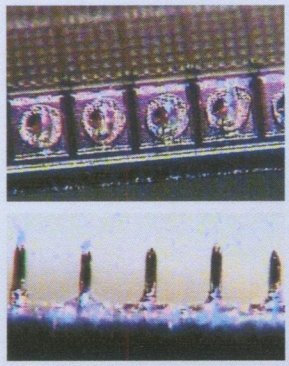
Dienst-leistungen

- Anpassung bestehender Prüfvorschriften und Normen im Bereich des Dünndrahtbondens an das Finepitchbonden
- Golddrahtbonden bei niedrigen Temperaturen

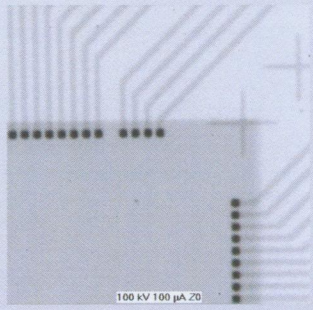


Flip-Chip-Technik:

- Montagetechnologien Löten und Kleben
- Verschiedene Bumping-Methoden



Stud-Bumping, Pitch 110µm, Bumphöhe ca. 100µm



Röntgenaufnahme eines montierten Flip-Chips, Pitch 110µm

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

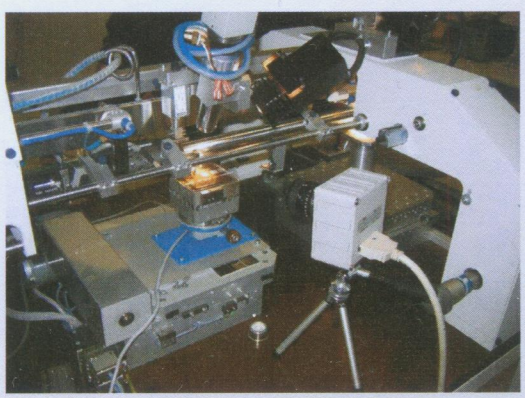
Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

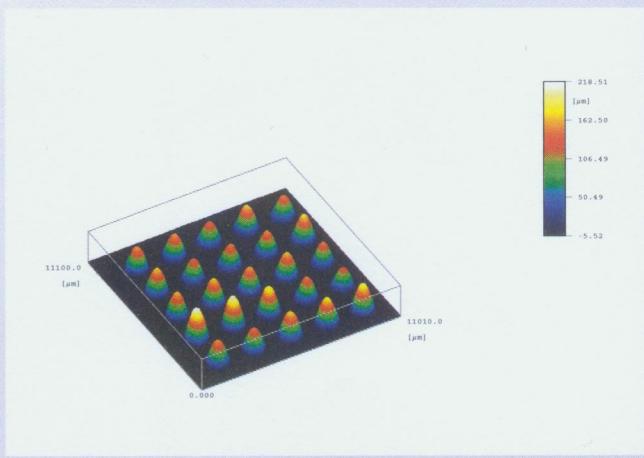
nanoeva

Dienst-leistungen

- Validierung von Auftragsverfahren wie Drucken, Dispensen und Stempeln von Klebstoffen
- Evaluation der Qualität und Zuverlässigkeit von Klebstoffverbindungen
- Bestimmung elektrischer und mechanischer Kenngrößen



Untersuchung des rheologischen Verhaltens von Klebstoff beim Stempeln mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera



Untersuchung zur Reproduzierbarkeit des Volumenübertrags beim Stempeln von Klebstoff, ermittelt mit dem Laserprofilometer

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

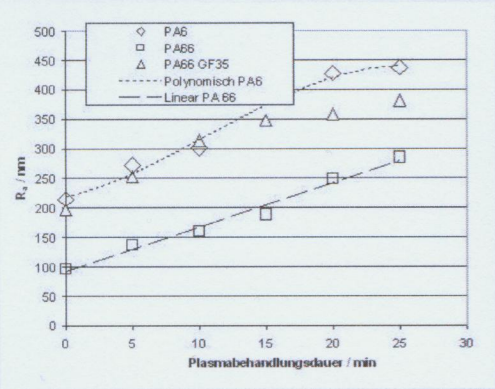
Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

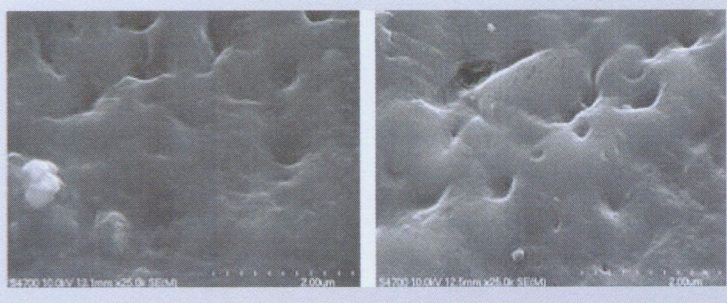
nanoeva

Dienst-leistungen

- Bestimmung der Haftfestigkeit der Klebstoffverbindung
- morphologisch-topologische und energetische Charakterisierung von Oberflächen
- Untersuchungen zur Aktivierung von Oberflächen



Einfluss der Dauer der Sauerstoffplasma-Behandlung im HF-Reaktor auf die Oberflächenrauhigkeit der untersuchten Polyamide, basierend auf Messungen mit dem Laserprofilometer



REM- Aufnahme einer unbehandelten und einer Sauerstoffplasma-behandelten Polymeroberfläche

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

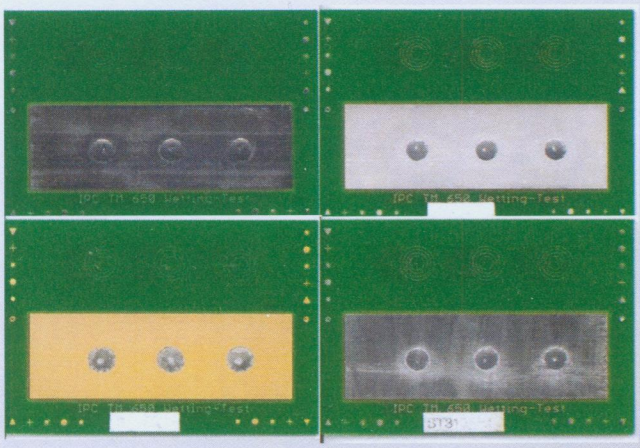
Technologie-Transfer

nanoeva

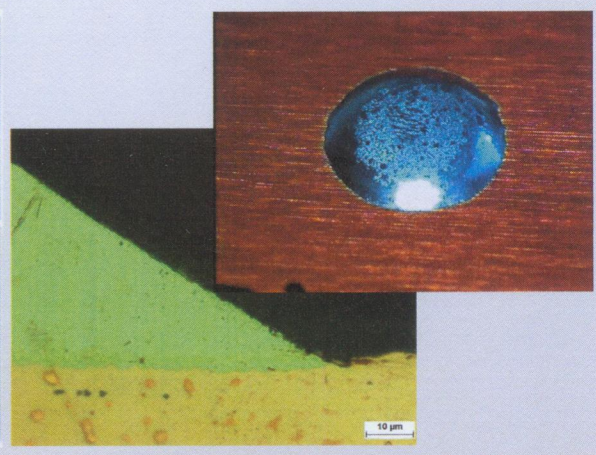
Dienst-leistungen

Untersuchung rückstandsarmer Lötverfahren, z.B. für optische und mikromechanische Komponenten in Elektronikprodukten

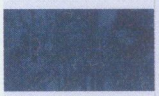
- Löten im Vakuum
- Einsatz von Ultraschall
- gezielte Plasmamodifizierung der Montageoberflächen



Benetzungstests an verschiedenen aktivierten Oberflächenfinishes



Schliffbild und Benetzungsergebnis „Rückstandsarmes plasmagestütztes Löten"

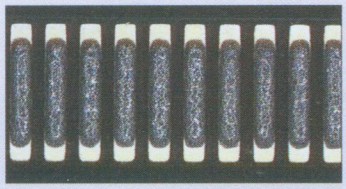


Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

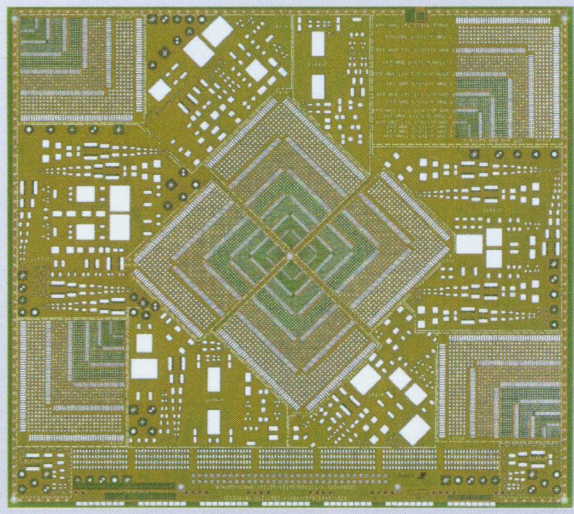
Prozesse und Verfahren bei der Montage elektronischer Baugruppen

- Parameteroptimierung für einzelne Prozesse (Lotpastenauftrag, Löten)
- Prozessierbarkeit von Materialien
- Benchmarking von Ausrüstungen, Materialien und Prozessen
- Entwicklung angepasster Montageverfahren für spezielle Anwendungen

Größenvergleich passiver Bauelemente 0805 und 0201, gelötet auf einem Polyimid-Flex-Substrat



Finepitch-Lotpastendruck, Raster 400µm



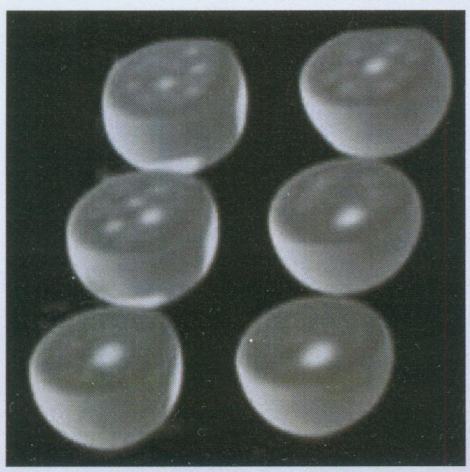
Testboard für verschiedene Benchmarks bei der Applikation von Verbindungswerkstoffen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

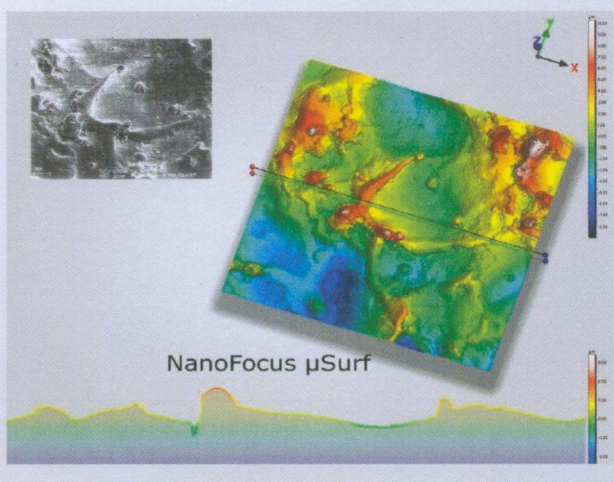
Erschließung neuer Anwendungsmöglichkeiten für Standardverfahren

- Ultraschalluntersuchung
- Röntgenmikroskopie
- Röntgen-Computertomografie

Geometrische Charakterisierung von Oberflächen



Tomografie von µBGA-Balls zur Detektion von Voids



Oberflächencharakterisierung mittels konfokaler Mikroskopie, Auflösung in z-Richtung <1nm möglich

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

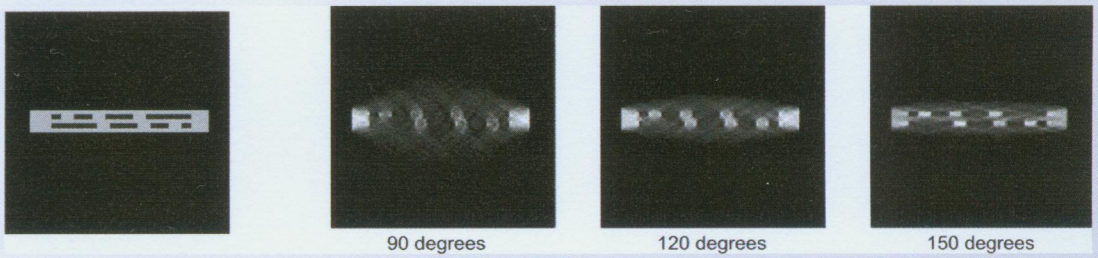
Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

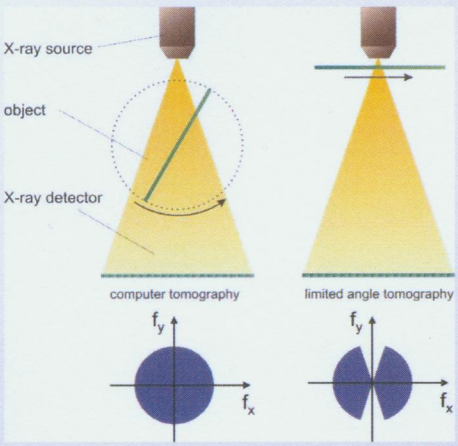
nanoeva

Dienst-leistungen

Entwicklung neuer Methoden der Bildrekonstruktion und der Signalbearbeitung



Evaluierung von speziellen Rekonstruktionsalgorithmen, Links außen Untersuchungsobjekt (Softwarephantom), daneben Rekonstruktion auf Basis verschiedener Limited-Angle-Datensätze



Prinzip der Röntgentomographie, links Vollwinkeltomographie, rechts Limited - Angle - Tomographie

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

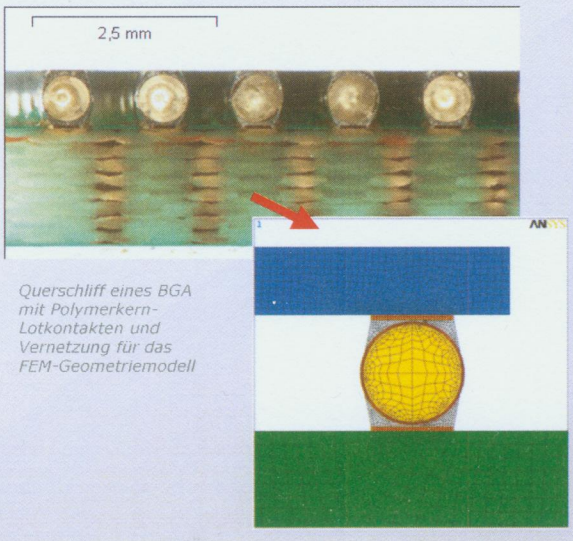
Technologie-Transfer

nanoeva

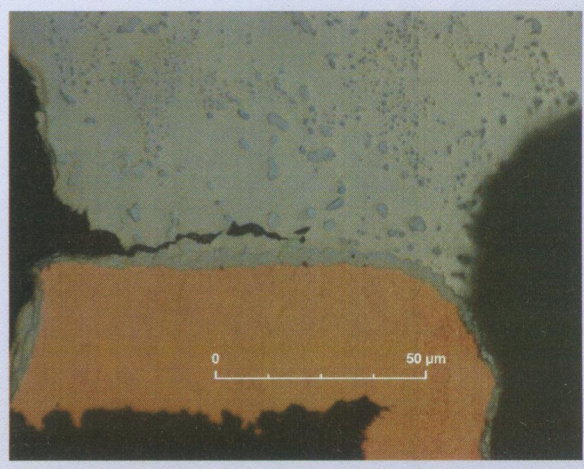
Dienst-leistungen

Baugruppenzuverlässigkeit

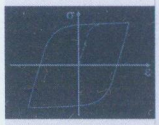
- FEM-Analysen
- Lebensdauerprognosen
- Physik der Ausfallursachen
- Charakterisierung des konstitutiven Werkstoffverhaltens
- Bestimmung des Versagensverhaltens an AVT-Strukturen



Querschliff eines BGA mit Polymerkern-Lotkontakten und Vernetzung für das FEM-Geometriemodell



Riss in einem FBGA-Kontakt, die Ausschnittsvergrößerung zeigt die linke untere Seite des FBGA-Kontaktes



Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

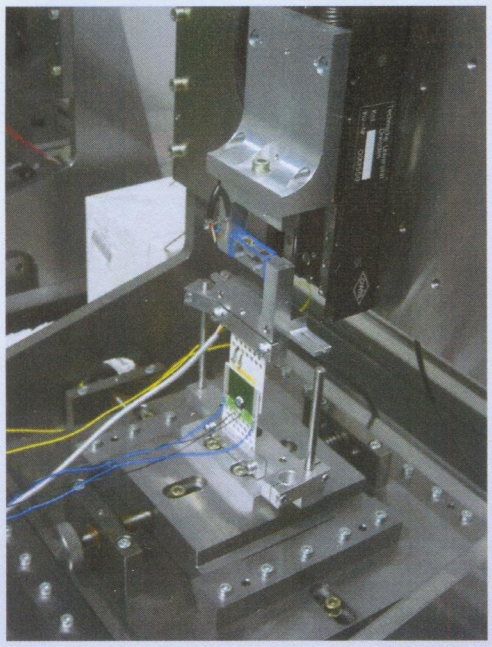
Technologie-Transfer

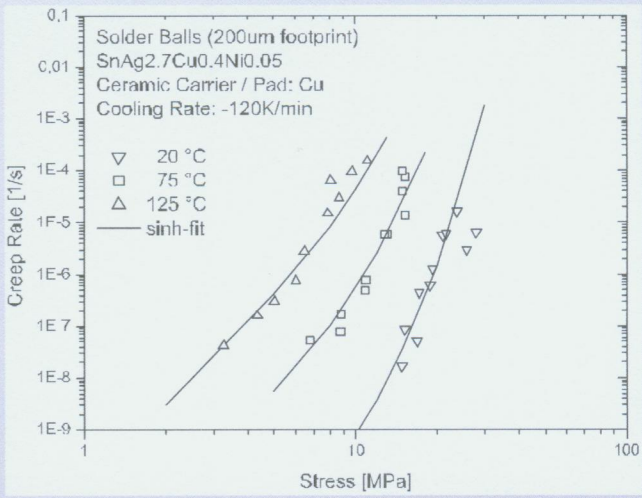
nanoeva

Dienst-leistungen

Werkstoffmodellierung

- Experimentelle Charakterisierung des Konstitutivverhaltens in Mikrostrukturen
- Bestimmung von Ausdehnungskoeffizienten mit Grauwertkorrelation





Ergebnisse von Kriechversuchen an SnAg2.7Cu0.4Ni0.05 Lotbällen mit 200µm Durchmesser

Versuchseinrichtung zur Durchführung von Scherversuchen an BGA-, FBGA- und Flip-Chip-Kontakten

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

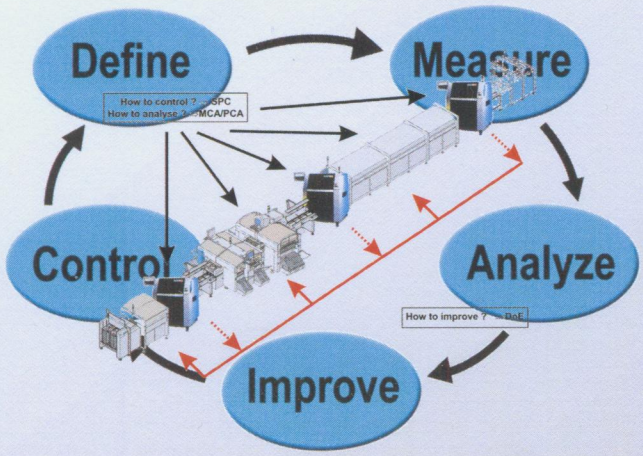
Forschungs-projekte (Auswahl)

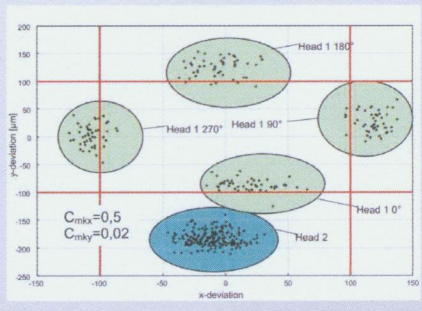
Technologie-Transfer

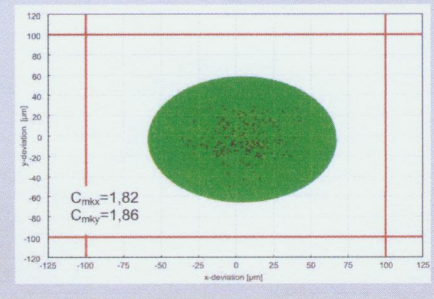
nanoeva

Dienst-leistungen

- Anwendung der DMAIC – Methode (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) in Elektronikfertigungen
- Praktische Anwendungen der SPC (Statistical Process Control)
- MFU / PFU (Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchungen)
- Statistische Versuchsplanung (DoE, Design of Experiments)
- Numerische Analyse von Zuverlässigkeitsdaten







Vergleich des Beginn- (oben) und des Endzustands (unten) des Bestückversatzes eines untersuchten Bestückautomaten (Spezifikation 100µm / 4sigma)

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

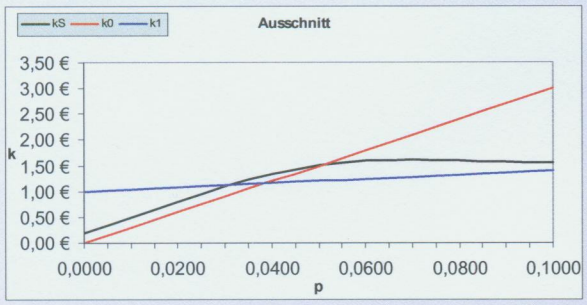
Technologie-Transfer

nanoeva

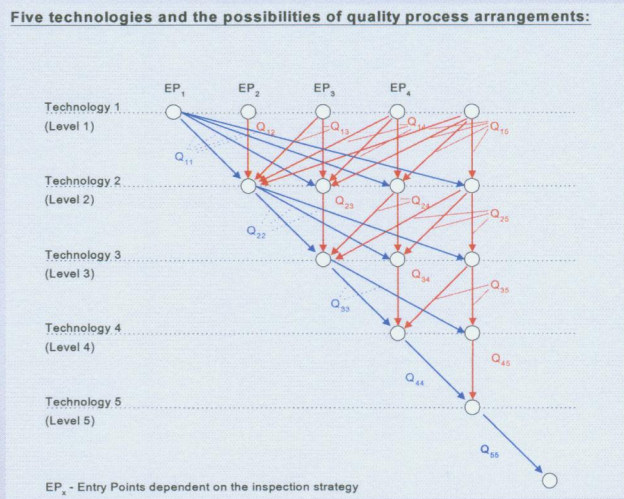
Dienst-leistungen

Qualitätskostenoptimierung

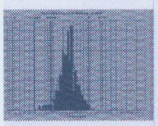
- prozess- und produktbezogene Optimierung der Prüfstrategien
- Entscheidungshilfe zur fehlerquotenabhängigen Kostenreduzierung
- Modellierung und vergleichende Bewertung verschiedener Prozessstrukturen auf der Basis der Prüf-, Rückweise- und Fehlerfolgekosten



Kostenverlauf für 100%-Prüfung (k1), 0%-Prüfung (k0) und Stichprobenprüfung (kS), Ausschnitt



Modell der Qualitätsstrategien für 5 Prozessschritte; Basis für die Dynamische Optimierung



Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

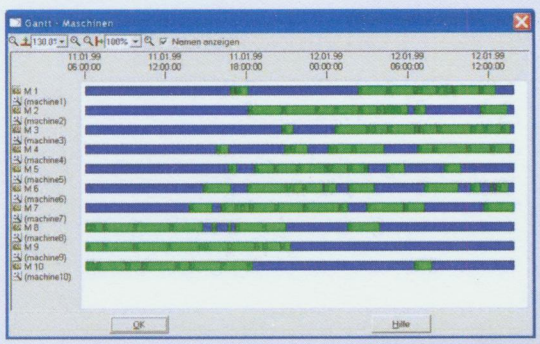
Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

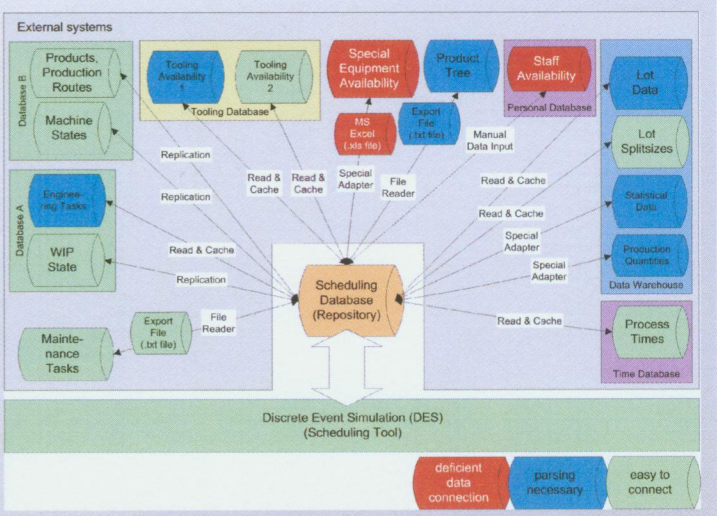
nanoeva

Dienst-leistungen

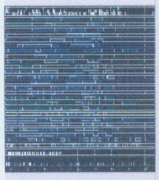
- Ablaufplanung und -steuerung in diskreten Fertigungssystemen der Elektronikproduktion
- Auswirkungen auf Qualität und Kosten der jeweiligen Produkte
- analytische Modelle
- Simulationsmethoden in Verbindung mit heuristischen Optimierungsverfahren



Ablaufplanung diskreter Fertigungsprozesse

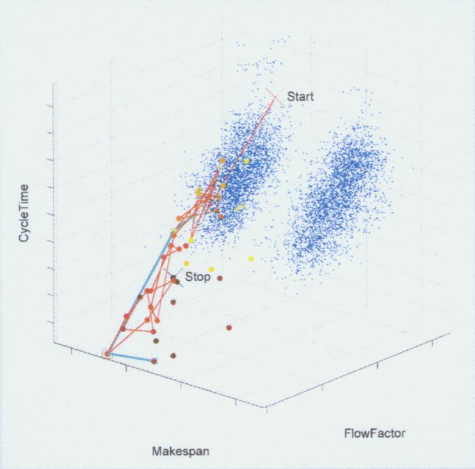


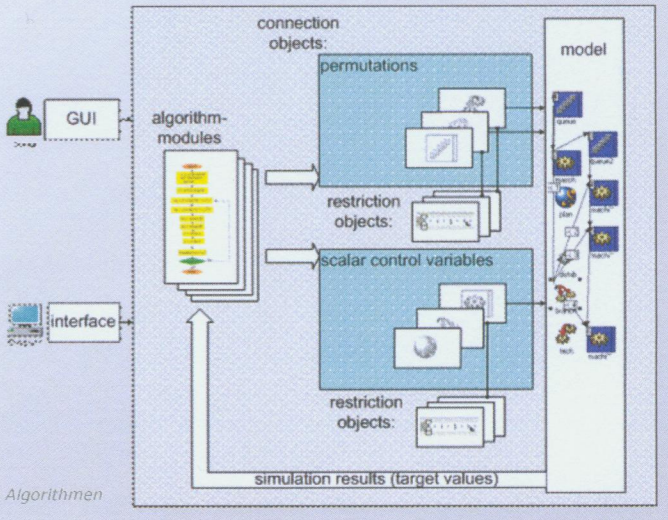
Simulationsgestütztes Feinplanungssystem mit automatischer Modellerzeugung



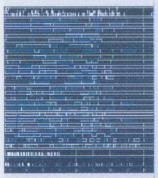
Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- simulationsgestützten Optimierung: heuristische Suchalgorithmen, z.B. Simulierte Abkühlung oder Genetische Algorithmen, werden mittels ausgewählter Stell- und Zielgrößen mit einem Simulator gekoppelt



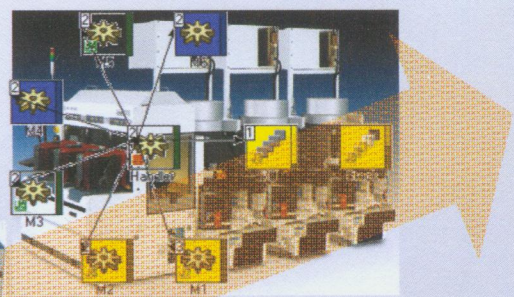


Multikriterielle Optimierung durch heuristische Algorithmen

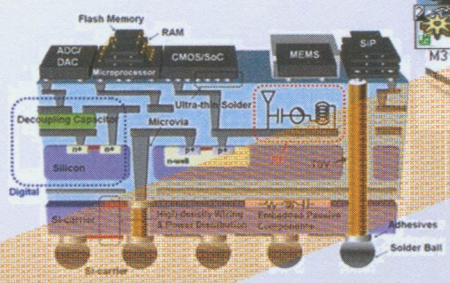


Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

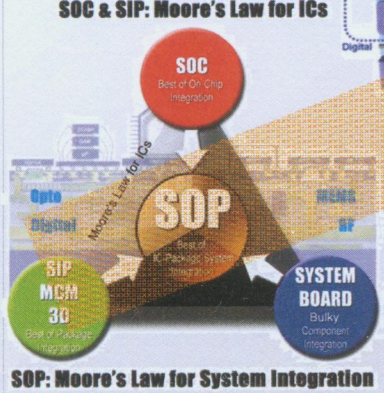
Ganzheitliche Betrachtung der
- **konzeptionellen Entwicklung**
- **Technologische Realisierung**
- **Produktion hochzuverlässiger 3D-Mikrosysteme**



Produktion



Technologien



Konzepte

Tummala, R., PRC Georgia Tech, USA

Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

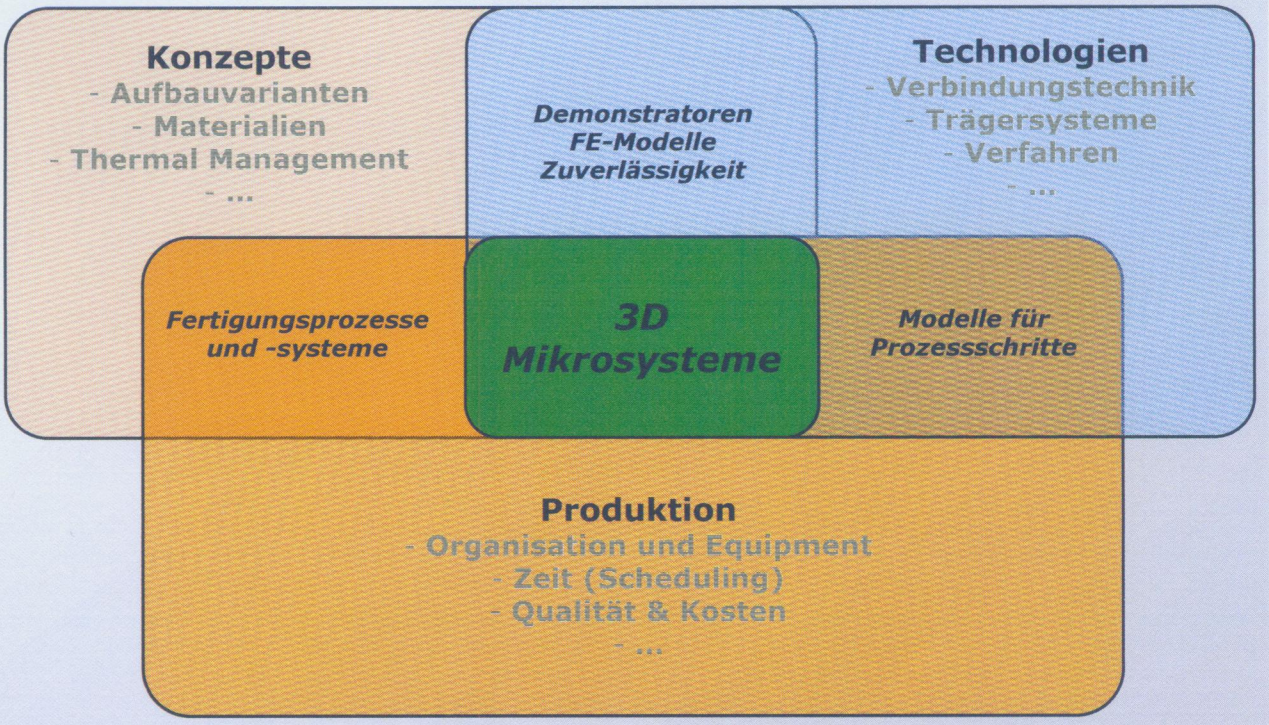
Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen



Einordnung

Arbeits-richtungen

Labore und Equipment

Ausbildung der Studenten

Forschungs-projekte (Auswahl)

Technologie-Transfer

nanoeva

Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

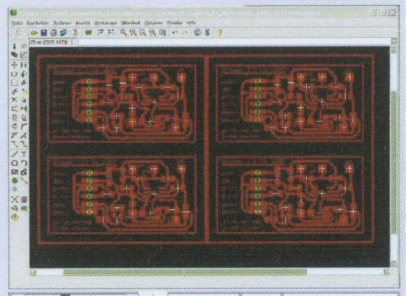
Entwurf, Simulation, Materialdatenbestimmung

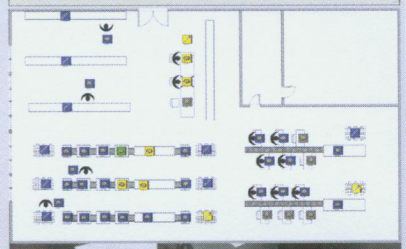
Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

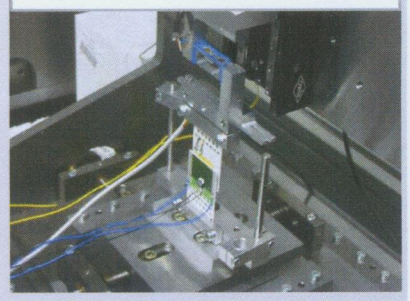
Hardware:
- PC-Arbeitsplätze, leistungsfähige Servertechnik

Software:
- Software für Leiterplattenentwurf
- Ereignisdiskrete Simulation (eM-Plant, simcron)
- FEM-Simulation (ANSYS)
- Mathematische Modellierung (Matlab, Maple)

Eigenentwickelte Versuchsstände:
- Bestimmung des Kriechverhaltens von Lotwerkstoffen
- Scherversuche an Verbindungsstellen





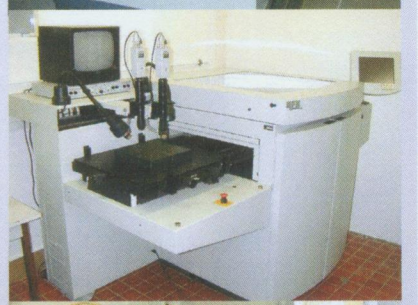


Substrat-Herstellung

Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

Leiterplattenherstellung:
- Fotoplotter
- Fräs-Bohr-Plotter Bungard
- Galvanik-Anlage Bungard
- Leiterplattenbürstmaschine RBM 400
- Ätzmaschine DL 500E
- Entwickler EXP 2000
- Laminator RLM 419P
- Multilayerpresse MLP 20

Herstellung von Dickschicht- und LTCC-Substraten:
- Siebspanngerät
- Siebdrucker MPM
- Belichter, Entwickler, Isostatischer Laminator PTC IL4004
- Brennofen 4CF77 und VMK 39
- Programmierbarer Quarzrohr-Ofen ATV PEO 603
- Nd+YAG-Laser, CO_2-Laser

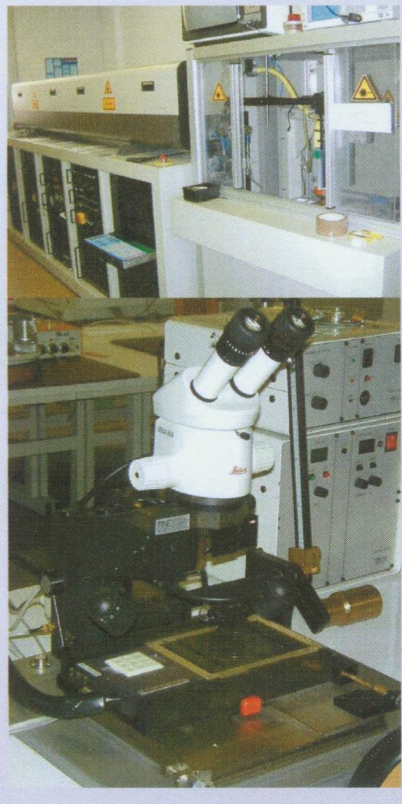


Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Laser:
- CO_2-Laser, 120 W
- Nd-YAG-Laser, 12 W
- Nd-YAG-Laser, 60 W
- Schweiß-Laser LSW 4001
- 3D-micromac microCUTms10.6 mit zwei Laserquellen (CO_2-Laser, 200 W + Faser-Laser, 20 W)

Mikrokontaktierung:
- Ultraschall- und Thermosonic-Drahtbonder F&K Delvotec 56xx
- Drahtbonder MDB 11 und RDB 50 (US)
- Flip-Chip-Bonder
- Fineplacer

Pull/Shear-Tester
- Dage BT Series-4000P
- XYZTEC
- Aufbau für Scherversuche mit hohen Beschleunigungen



Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Applikation von Verbindungswerkstoffen:
- Schablonendrucker MPM-SPM-AV
- Dispensautomat Martin

Platzierung von Bauelementen:
- Bestückautomat Siplace 80F4
- SMD-Reparaturplatz SYSTEMS 2000
- SMD-Arbeitsplatz Fineplacer
- Handarbeitsplätze

Lötverfahren:
- Reflowlötofen Rehm V8 (Konvektion) und Seho 4135 (Infrarot)
- Wellenlötanlage Seho
- Dampfphasenlötanlagen IBL
- Vakuumlötanlage Kendro
- Selektivlötanlage (Licht) ATN economic A400

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Zerstörungsfreie Prüfung:

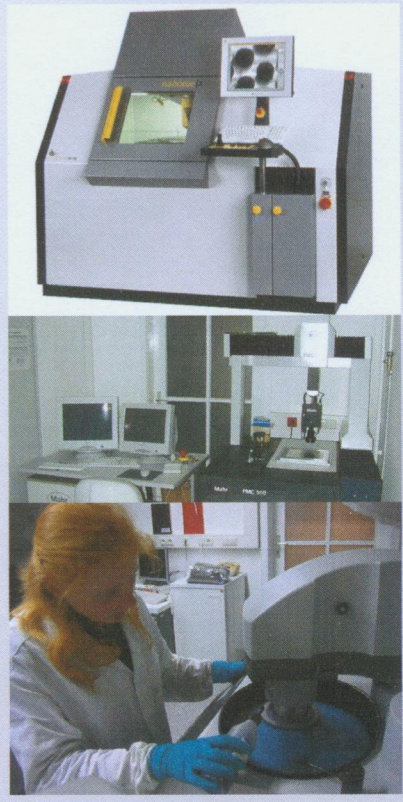
- Nanofokus-Röntgenanlage nanome|x Röntgen-CT-Anlage nanotom
- Ultraschall-Mikroskop Sonoscan Gen5
- Fischerscope Röntgen-System XDL
- REM Zeiss SUPRA40 VP

Oberflächencharakterisierung:

- Kontaktwinkelmessgerät OCA 20
- Oberflächenmesssysteme Nanofocus µScan AF2000 und µSurf
- 3D-Koordinatenmessgerät PMC 500
- Thermoire Akrometrix

Metallografie:

- Schleif- und Poliersystem TegraSystem (TegraForce-5, TegraPol-35)
- Präzisionstrennmaschinen IsoMet 1000 (bis 1000 U/min), Accutom-2 (3000 U/min)
- Auflichtmikroskop Leica DM4000 M (bis 1000fach) mit digitaler Bildaufnahme (2080x1544 Pixel)



Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Temperaturprüfkammer
  - Einkammersystem der Firma Feutron TPK 600
  - Temperaturbereich: -70 °C bis 180 °C
  - Änderungsrate: 10K/min (-55 °C bis 150 °C)
- Temperaturschockkammer
  - Zweikammersytem der Firma Feutron TSK 200
  - Warmkammer: +10 °C bis 200 °C
  - Kaltkammer: -75 °C bis 180 °C
- Null-Ohm-Messsystem
  - Vier-Punkt-Widerstandsmessung
  - Keithley-Delta-Mode System
    - Nanovoltmeter Keithley Modell 2182A
    - Stromquelle Keithley Modell 6121
  - 128 Kanal Multiplexer
  - Spannungsmessung
- Isotherme Auslagerung
  - Temperaturbereich: -80 °C bis 300 °C
- Feucht/Wärme-Auslagerung
  - Vötsch VCL 0006
  - [+10°C ... +95°C] @ [10% ... 98%r.F.]

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Studiengang Elektrotechnik

- Hauptstudiengang der Fakultät

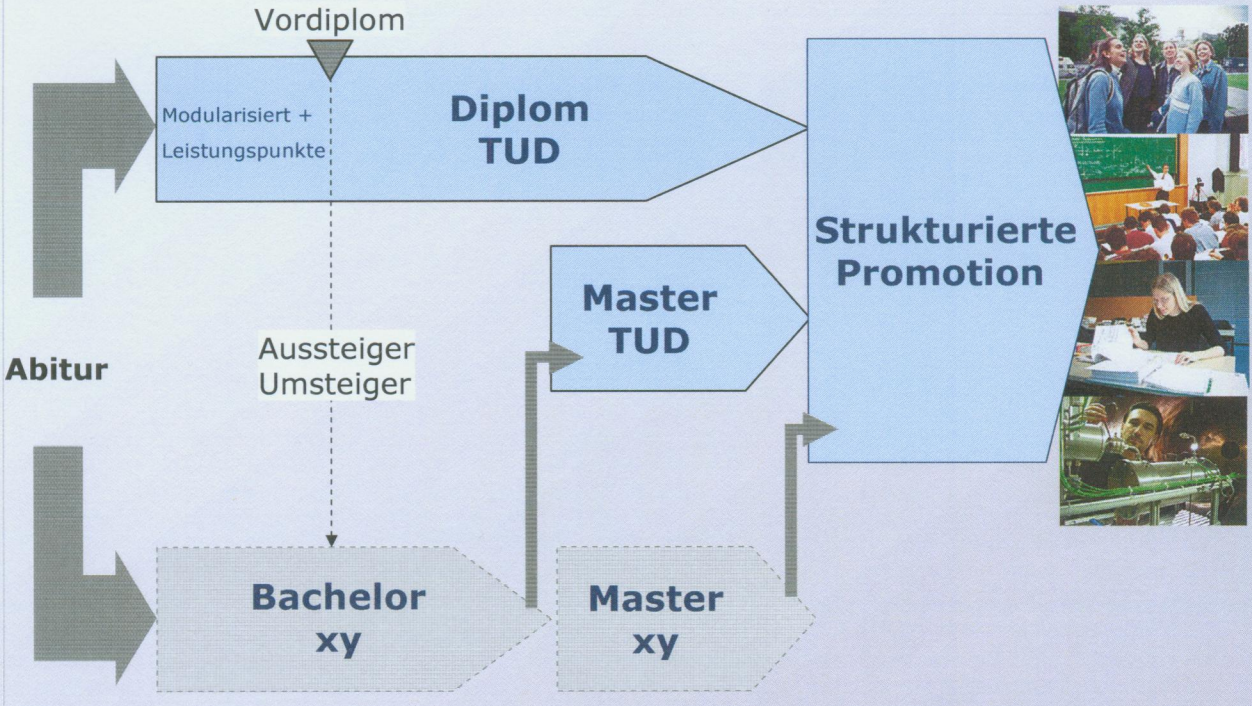
Studiengang Informationssystemtechnik

- Seit 1999, gemeinsam mit Fak. Informatik

Studiengang Mechatronik

- Seit 2001, mit Fak. Maschinenwesen und Fak. Verkehrswissenschaften

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen



Quelle: Dekan Eul

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Projekt Elektronik-Technologie — 3. Semester, ET
Grundkenntnisse zum Entwurf und zur Fertigung elektronischer Flachbaugruppen; betreute teamorientierte Praktikumsarbeit...

AVT I — 5./6. Semester, FMT + ME
Technologien zur Herstellung von Bauelementen und Baugruppen, Grundlagen der Aufbau- und Verbindungstechnik, Verdrahtungsträger...

AVT II — 6./7. Semester, FMT
Bauelemente und Baugruppen mit hoher Packungsdichte, Area-Array-BE, Bumpingtechnologien, Kleben in der Elektronik, optoelektronische AVT...

Qualitätssicherung — 6. Semester, FMT
Qualitätskenngrößen; Qualitätsdatengewinnung; statistische Überprüfung von Qualitätskenngrößen (SPC); statistische Versuchsplanung (DoE)...

Biomaterialien und Gerätewerkstoffe — 6. Semester, FMT
spezifische Merkmale von Biomaterialien, Bioverträglichkeit/-toleranz, Wechselwirkungen, Verarbeitungstechnologien...

Hybridtechnik — 7. Semester, FMT
Aufbautechniken von hybriden Mikrosystemen, technologische Verfahren zur Herstellung von Dünn- und Dickschichtsubstraten, Montagetechniken für Dickschichthybrid-Baugruppen...

Prüftechnik / Visuelle Inspektion — 8. Semester, FMT
automatische Bildverarbeitung in der Elektronikproduktion, Ultraschall- und Röntgeninspektionssysteme...

Fertigungssysteme der Elektronik — 6. Semester, FMT
Grundlagen der Planung und Steuerung flexibler Fertigungssysteme, Simulation und Optimierung von Prozessen...

außerdem: Projekt Feinwerktechnik, Praktikum Feinwerktechnik, Praktikum Mikrorechentechnik, Lasertechnik, Präzisionsantriebe

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

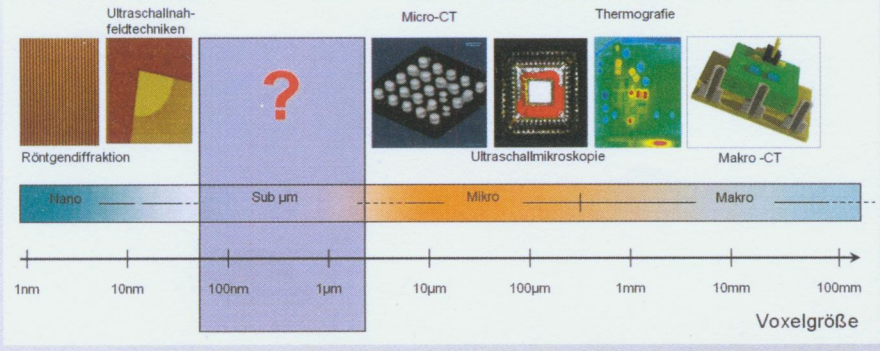
- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Zerstörende und zerstörungsfreie Prüftechnik für die Charakterisierung von nanoskaligen Alterungsmechanismen an hochminiaturisierten Lötverbindungen

Ziel:

- Charakterisierung von nanoskaligen Alterungsmechanismen im Volumen und an den Grenzflächen von hochminiaturisierten Lötverbindungen
- Anpassung bzw. Weiterentwicklung zerstörungsfreier Prüfverfahren für die minimierten Verbindungsvolumina und neuartigen Grenzflächenphänomene der Nano-AVT
- Entwicklung eines neuartigen Prüfverfahrens sowie des Prüfgerätes zur Bewertung der thermomechanischen Zuverlässigkeit miniaturisierter Verbindungsstrukturen



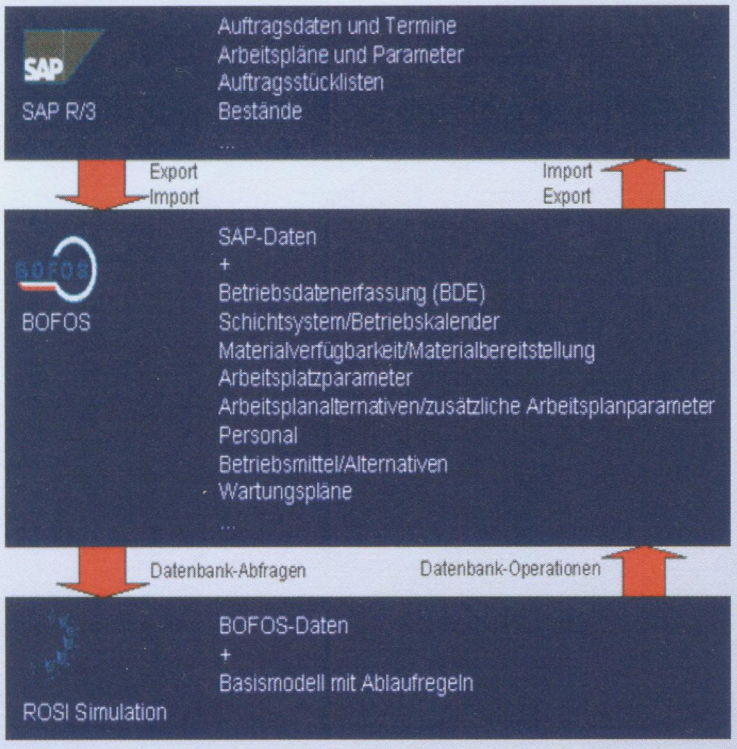
BMBF-Verbundprojekt

nanoPAL

Siemens AG, Conti Temic microelectronic GmbH, Robert Bosch GmbH, Infineon Technologies AG, Kammrath & Weiss GmbH, GÖPEL electronic GmbH, CWM GmbH, Fraunhofer IZM, TU Dresden, XYZTEC Germany, FRT GmbH, Universität Rostock, Fraunhofer IzfP-D

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Bedarfsorientierte Fertigungsoptimierung durch Simulation

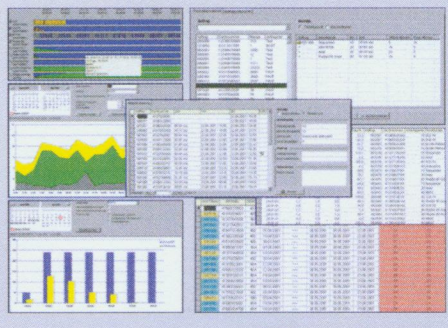


Industrieprojekt

DIEHL

Ziel:

- Kürzere Lieferzeiten
- Verbesserte Termintreue
- Optimale Maschinenauslastung
- Flexible Fertigungsorganisation
- Optimierte Kunden-Lieferanten-Beziehung zwischen Produktionseinheiten



Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

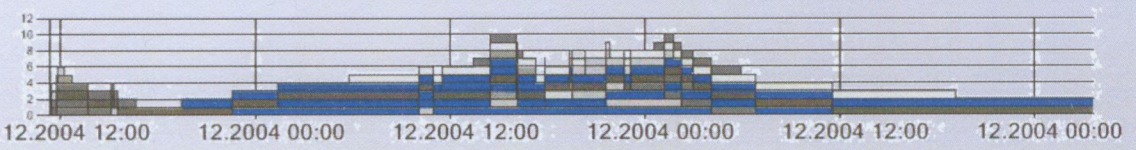
Simulationsgestützte Ablaufsteuerung des Backend-Prozesses

Industrieprojekt

qimonda

Ziel:

- Planungssoftware für die Liniensteuerung zur exakte Ermittlung von
  - Terminen
  - Ressourcenbedarf
  - Ausstoßmengen
- Automatische Modellgenerierung
- Vielfältige Analysewerkzeuge
- Optimierung der Prozessabläufe



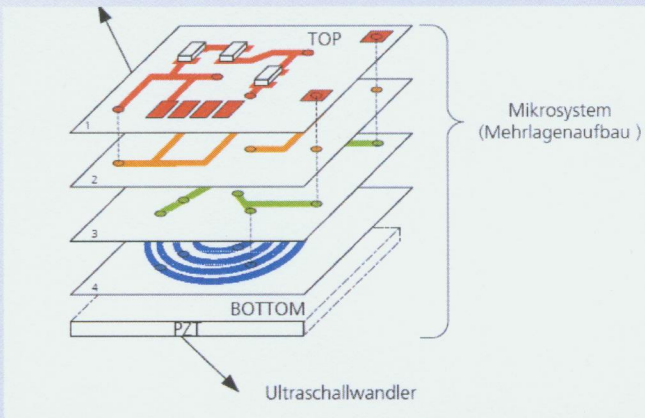
Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

Entwicklung von schadenssensitiven ultraschallwandelnden SHM-Mikrosystemen für Faserverbundwerkstoffe mit Applikationen im Bereich Luftfahrt

Finanzierung: BMWi

AP: Zuverlässigkeit
Lebensdauerdaten, Werkstoffe

AP: Baugruppendesign
Kontaktierungstechnologie, FEM



Wissenschaftliche Zusammenarbeit:
Fraunhofer IKTS, Fraunhofer IzfP-D
Airbus Deutschland GmbH
RHe Microsystems GmbH
W.C. Heraeus GmbH & Co. KG
Werner Industrielle Elektronik
Neue Materialien Würzburg
Teletronic Rossendorf
VIA electronic GmbH

Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

Entwicklung nanotechnologischer Siebbeschichtungen und daran angepasster Pastensysteme für den Fine-Line-Druck von keramischen Schaltungsträgern (nanoSieb)

TU Dresden: rheologische Messungen Unterauftrag Heraeus

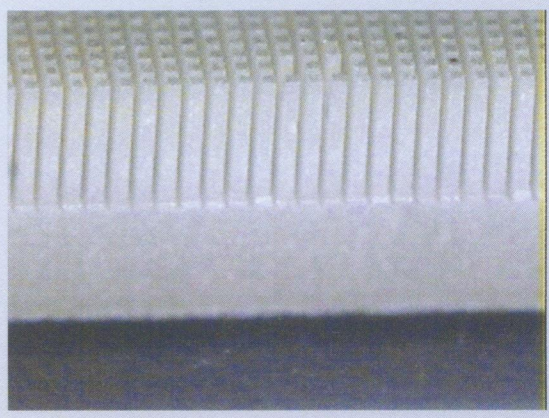
Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von Sieben und kompatiblen Pasten für die keramische Dickschichttechnik. Die Entwicklung wird durch numerische Simulationen unterstützt. Im Ergebnis soll die deutliche Reduzierung der gedruckten Strukturen auf < 50 µm, idealerweise auf 20 µm, auf keramischen Schaltungsträgern erzielt werden.

Wissenschaftliche Zusammenarbeit:
W. C. Heraeus GmbH, Hanau
Micro Systems Engineering GmbH & Co., Berg
Fraunhofer IWM, Freiburg
EKRA GmbH, Bönnigheim
Koenen GmbH, Ottobrunn
Plasma Electronic GmbH, Neuenburg

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Mit der Ultraschall-Phased-Array-Technologie lassen sich Ultraschallwellen gezielt und automatisiert fokussieren und schwenken, so dass eine einzige Phased-Array-Einheit die Leistungsmerkmale einer großen Anzahl verschiedener Einzelprüfkopfe in sich vereint.

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer Herstellungstechnologie für Phased-Array-Ultraschallsensoren für die Materialprüfung im Frequenzbereich von 2,5 MHz bis 10 MHz, die eine spätere qualitätsgesicherte industrielle Herstellung erlaubt.



Wissenschaftl. Zusammenarbeit:
SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH
Fraunhofer IZfP-D, Dresden

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Ziel:

- Ermittlung der Kriechkoeffizienten für Lotwerkstoffe an Real-Lotkontakten

Ergebnisse:

- Experimentalausrüstung und FEM Methodik zur Untersuchung der Kriecheigenschaften
- Präzise Kriechkoeffizienten eines Lotwerkstoffes für einen breiten Temperaturbereich

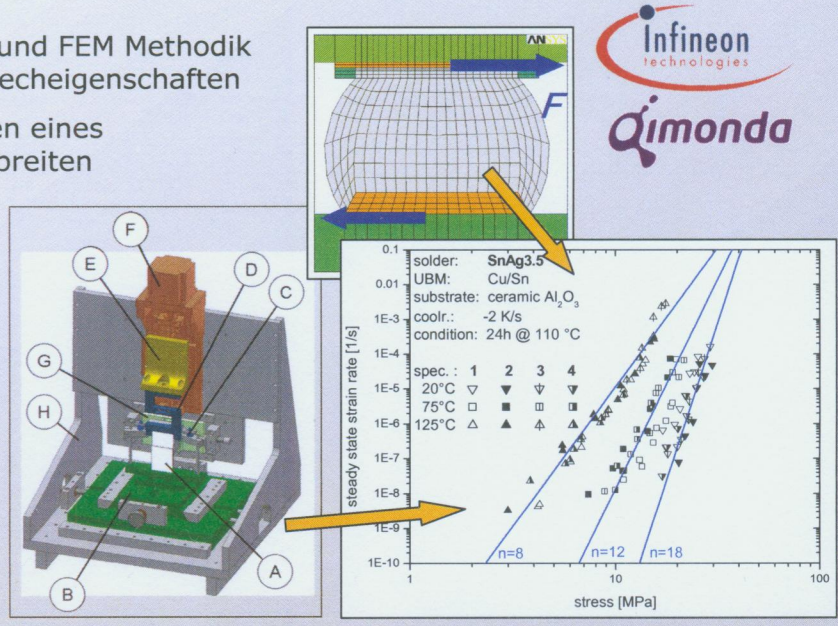
Finanzierung

SAB Sächsische AufbauBank

Projektpartner

Infineon technologies

qimonda

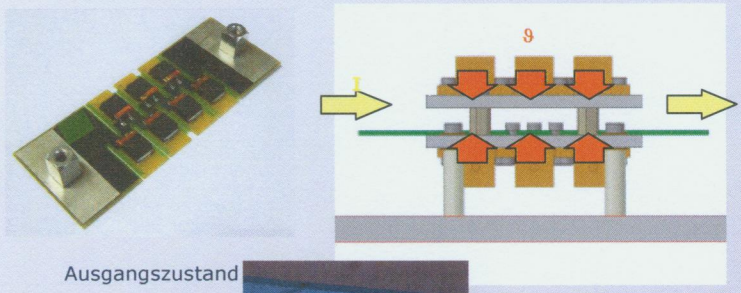


Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Ziele:

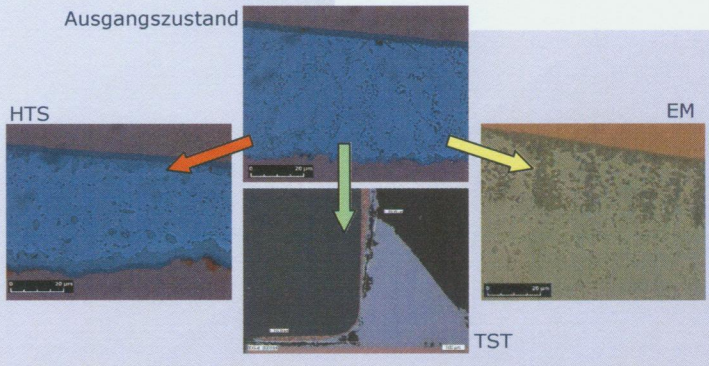
- Lebensdauerabschätzung eines Lotkontaktes unter thermischer, elektrischer und mechanischer Beanspruchung

Industrieprojekt
SIEMENS VDO



Ergebnisse:

- Degradation für thermische, elektrische und mechanische Beanspruchung charakterisiert
- Lebensdauergesetz für bleihaltiges und bleifreies Lot bei mechanischer Beanspruchung

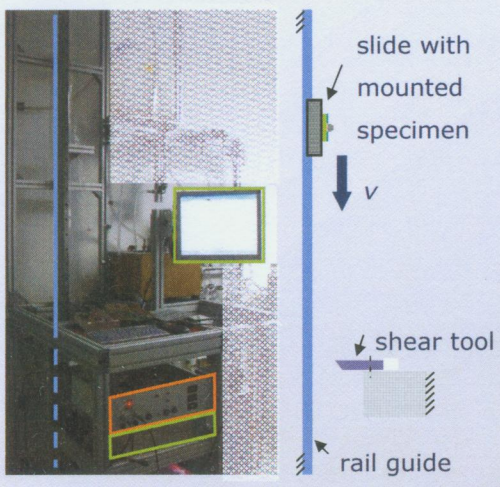


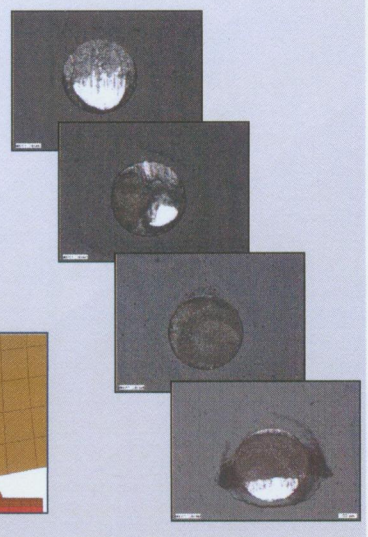
Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

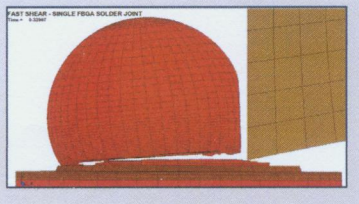
Ziel:

- Ermittlung des dehnratenabhängigen Materialverhaltens von bleifreien FBGA-Lotkontakten bei hohen Dehnraten unter Nutzung experimenteller und dynamischer FE-Methoden

Industrieprojekt
qimonda







Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Ausbildung der Studenten
- Lehrlingsausbildung, Berufsbild Mikrotechnologe
- Consulting zu spezifischen Problemstellungen
- Beratung bei der Einführung technologischer Prozesse in die Fertigung
- ergänzende wissenschaftliche Untersuchungen
- Reihe Workshops „Mikrotechnische Produktion"
- Seminare zu speziellen Aspekten der Elektronikproduktion
- Schulungen zu unternehmensspezifischen technologischen Themen
- wissenschaftliche Dienstleistungen

http://www.mikrotechnische-produktion.de

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Strategische Initiative: nanoeva – The center for non-destructive nano evaluation

nanoeva the center for non-destructive nano evaluation

→ Analysis and Metrology for Packaging

Zentrum für Mikrotechnische Produktion (ZμP)
Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik (IAVT)

Prof. Wolter

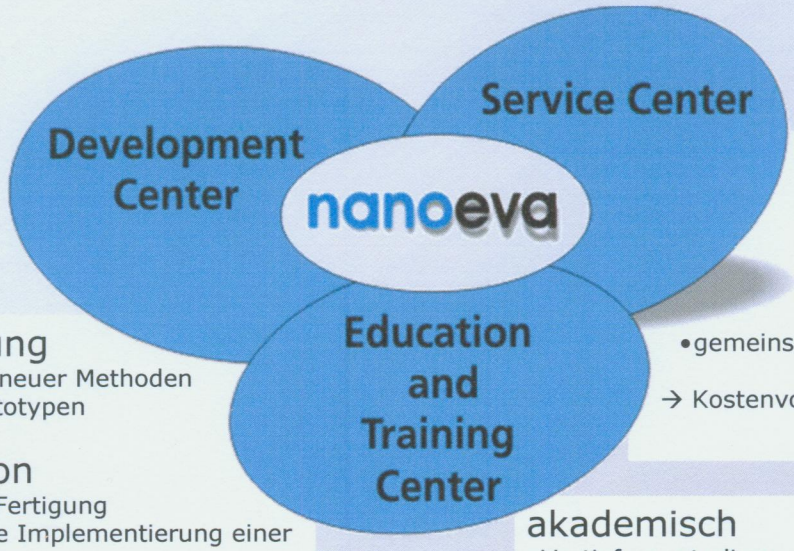
Koordinator nanoeva
Dr. Oppermann

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP- Dresden)

Prof. Meyendorf

Koordinator nanoeva
Dr. Heuer

Internet: www.nanoeva.net
E-Mail info@nanoeva.net



Entwicklung
- Evaluierung neuer Methoden
- Bau von Prototypen

Integration
- Test in der Fertigung
- Ganzheitliche Implementierung einer Prüfstrategie

Gerätepark
- Dienstleistung
- Auswertung
- Beratung

Tool sharing
- gemeinsame Anschaffung neuer Geräte

→ Kostenvorteile für Partnerfirmen

akademisch
- Vertiefungsstudium
- Spezialvorlesungen
- Praktika

technisch
- Ausbildung von Prüfern
- Berufsausbildung
- Berufsbegleitende Kurse

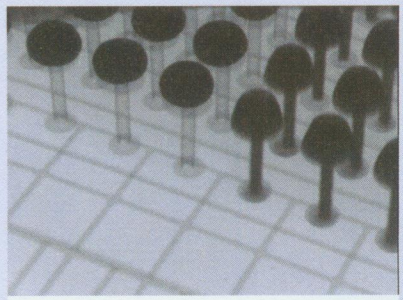
- Einordnung
- Arbeitsrichtungen
- Labore und Equipment
- Ausbildung der Studenten
- Forschungsprojekte (Auswahl)
- Technologie-Transfer
- nanoeva
- Dienstleistungen

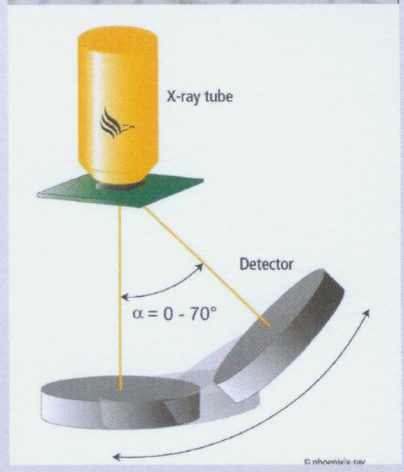
Röntgendiagnostik

Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

- zerstörungsfreie Inspektion von elektronischen Bauelementen und Baugruppen, besonders mit kontrastierenden Materialien (Lotwerkstoffe, Metallisierungen), darunter:
  - Standard und fine pitch SMT- und THT-Lötstellen
  - BGA-, COB-, CSP- und FlipChip-Lötstellen
  - fehlende und fehlerhafte Lötstellen, Bestückversatz, Kurzschlüsse
  - Lötstellenanalyse (Voids, ...)
  - Multilayer Leiterplatten

- Röntgenmikroskop nanome|x
  - hochauflösende Senkrecht- und Schrägdurchstrahlung bis 70°
  - hochauflösende Echtzeitbildkette und alternativ Digitaldetektor
  - CCD-Kamera: 1126 x 1600 Pixel
  - Digitaldetektor: 1920x1536 Pixel, 14-bit
  - geometrische Vergrößerung: > 1.000-fach
  - minimale Detailerkennbarkeit: 400nm



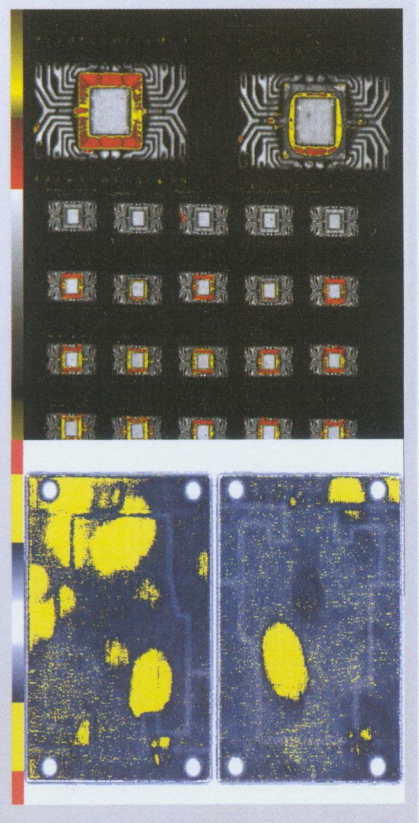


Ultraschallmikroskopie

Einordnung
Arbeitsrichtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungsprojekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienstleistungen

- Untersuchung an Produktionsserien von Schaltkreisen auf Delaminationen im Pad und auf den Lead
- Zerstörungsfreie Diagnostik zur Erkennung verborgener Fehler
- Unterstützung der Fehleranalyse bei Qualitätsproblemen in der Serienfertigung, Qualitätsmonitoring

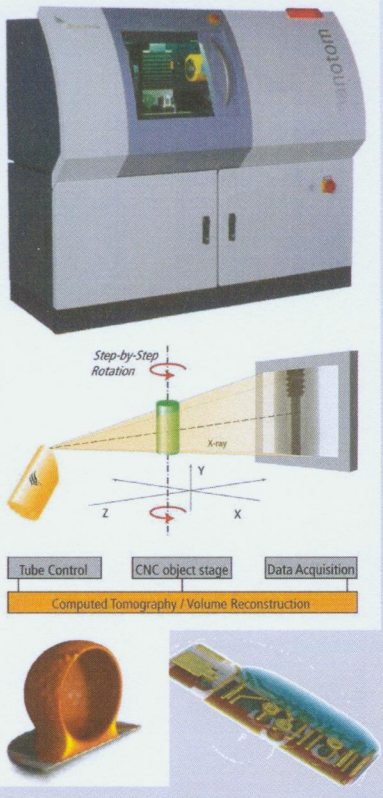
- C-SAM® Gen5™ DIGITAL ACOUSTIC MICRO IMAGING SYSTEM
  - A - Scan
  - C - Scan
  - Q - BAM
  - THRU - Scan



Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Volumenanalyse und –rekonstruktion von elektronischen Bauelementen und Baugruppenteilen

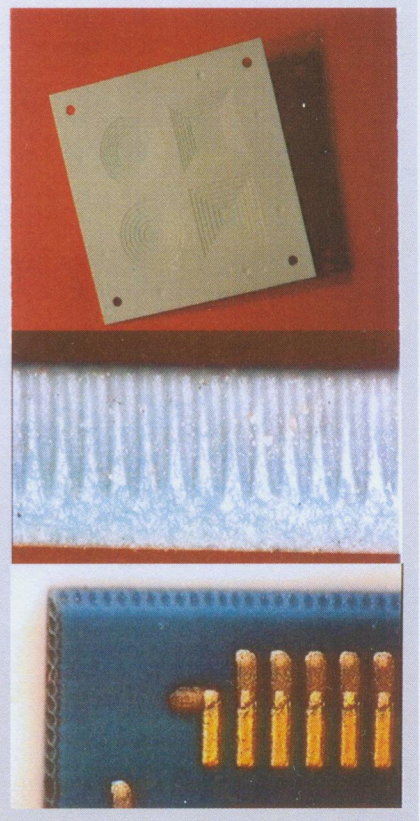
- Röntgen-CT-Anlage nanotom®
  - offene nanofocus™-Röhre mit Wolframtarget
  - Beschleunigungsspannung: 10 – 180kV / 15W
  - Strahlstrom: 5 – 1.000µA
  - Präzisionsmanipulator auf Granitbasis
  - hochauflösender Digitaldetektor mit 2.400 x 2.400 Pixel, 12 Bit
  - Pixelgröße: 50µm x 50µm
  - minimale Voxelgröße: < (500nm x 500nm x 500nm)
  - geometrische Vergrößerung: 1,7-fach…1.000-fach
  - maximale Probengröße / -masse:
    h = 150mm, d = 120mm, m = 1kg



Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Materialbearbeitung von Keramiken und dünnen Metallfolien
- Dickschichtwiderstandsabgleich
- Bohren und Schneiden
- Laser-Löten
- Laser-Mikroschweißen

Laser:
- CO_2-Laser, 120 W
- Nd-YAG-Laser, 12 W
- Nd-YAG-Laser, 60 W
- Schweiß-Laser LSW 4001
- CO_2-Laser, 200 W + Faser-Laser, 20 W

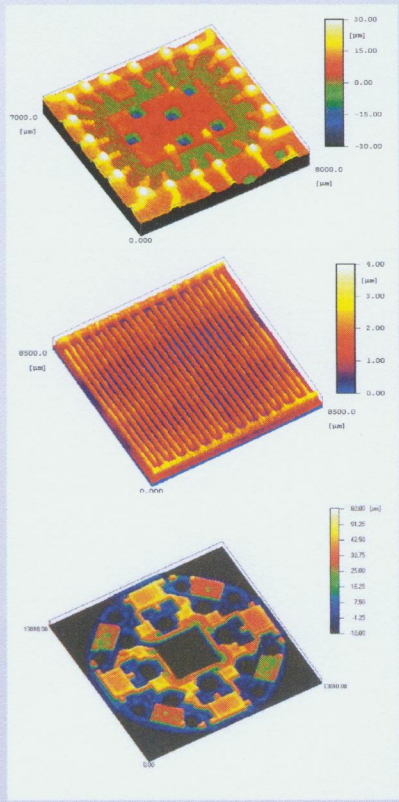


Leistungen:

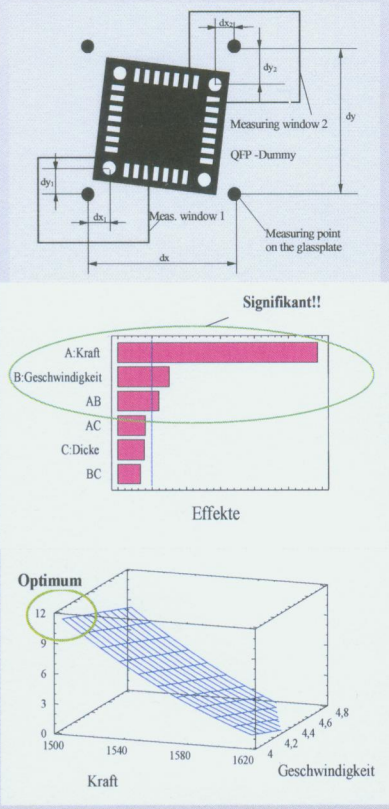
- schnelles und berührungsloses Vermessen der Oberflächenstruktur, unabhängig von den optischen Eigenschaften des Materials
- großer Messbereich erlaubt Form- und Rauheitsmessung an:
  - Präzisions-Spritzgussteilen,
  - elektromechanischen Formteilen,
  - IC-Packaging Modulen,
  - Lot- und Klebstoffdepots,
  - Kunststoff-, Metall-, Glas-, Keramik- und Halbleiteroberflächen

Equipment:

- Oberflächenmesssystem NanoFOCUS µScan AF2000 und µSurf
- 3D-Koordinatenmessgerät PMC 500
- Zwei-Koordinaten-Messmikroskop ZKM 01-250C



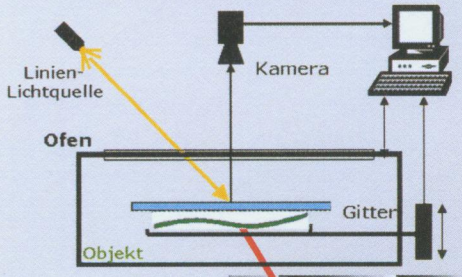
- Vorbereitung und Auswertung von statistischen Versuchsplänen (DoE)
  - Planung der Versuche unter Beachtung von konkreten Randbedingungen
  - Auswertung und Interpretation der Versuchsergebnisse
- Ermittlung von Prozessfähigkeits- und Maschinenfähigkeitskoeffizienten:
  - Anpassung an spezielle Randbedingungen insbesondere in der Elektronik
  - Beratung bei der Interpretation von Grenzfällen
- Problemlösungen für den Einsatz von SPC (Statistical Process Control):
  - Konstruktion von speziellen Qualitätsregelkarten

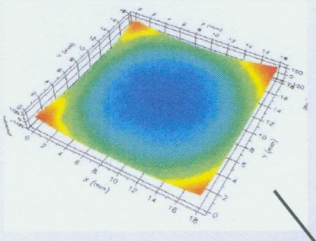


Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

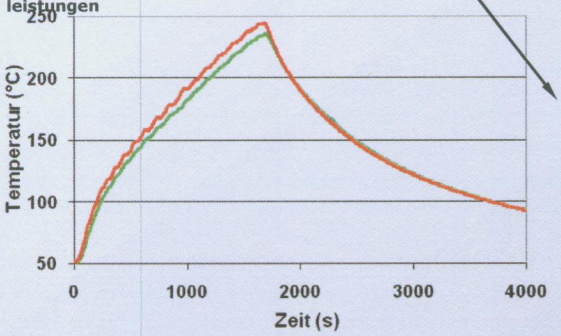
- Ermittlung der Wölbung von Objekten in Abhängigkeit von der Temperatur durch Vermessung von Moire-Mustern

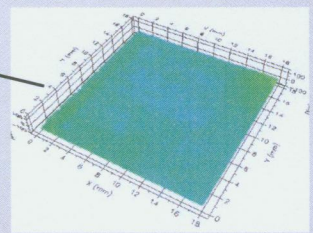
- Acrometrix Thermoire PS 200





Beispiel: BGA (18*18 mm²),
links: noch vorhandene Durchbiegung bei 170°C
unten: bei 235°C keine Durchbiegung





Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

Rheometer HAAKE RheoStress 600

- VC-Motor gesteuert
  - kleinstes Drehmoment 0,5 µNm
  - Winkelauflösung von 0,012 µrad

- Peltier-temperiertes Platte-Kegel System
  T=(-60 – 185) °C

- Messungen in drei Modi:
  - Scherspannungvorgabe (CS-Modus)
  - Drehratenvorgabe (CR-Modus)
  - Deformations-Steuerung (CD-Modus)

Wafersäge DISCO DAD 321

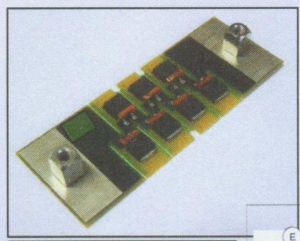
Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

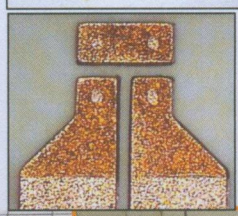
- Programmierbare Drehzahl von (3.000–40.000) U/min
- Sägegeschwindigkeit (0,1-300) mm/s
- max. Werkstückgröße (160 mm x 160) mm
- Genauigkeit in x- und y-Richtung 5 µm, in z-Richtung 1 µm

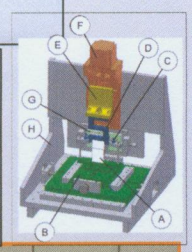
Elektromigration an Hochstromlötverbindungen

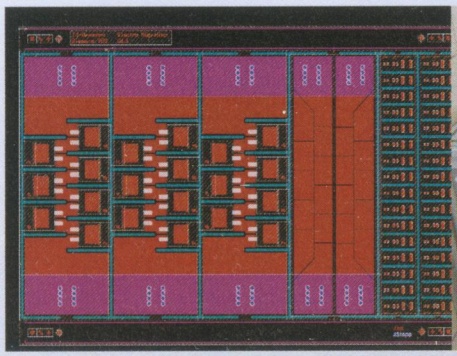
Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

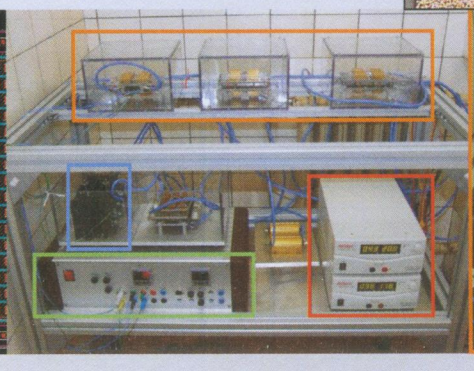
- Elektromigrationsversuche an charakteristischen Hochstrom-Lötverbindungen
  - $I_{max} = 60\,A$, $\vartheta_{max} = 150\,°C$
  - TO-Komponenten, FC-Bauelemente, …
- Entwicklung und Herstellung von Versuchsprototypen auf organischen oder keramischen Basismaterialien
- Kombination mit Untersuchungen der Kriecheigenschaften
- Metallografische Analysemethoden

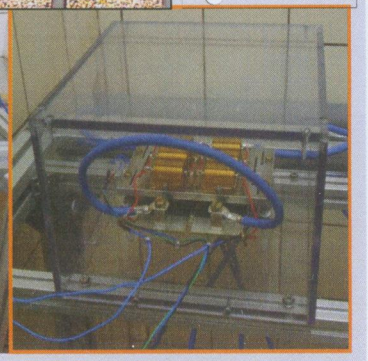












Einordnung
Arbeits-richtungen
Labore und Equipment
Ausbildung der Studenten
Forschungs-projekte (Auswahl)
Technologie-Transfer
nanoeva
Dienst-leistungen

- Analyse von Oberflächenzusammensetzungen mittels Röntgenfluoreszensmethode
- Prototyping von MCMs und anderen Modulen auf Basis anorganischer Substrate
- Pull-Shear-Tests
- geometrische Vermessung von Proben mit 3D-Koordinatenmessgerät
- Untersuchung des Benetzungsverhaltens von Oberflächen mit Kontaktwinkelmessgerät
- Reinigung und Passivierung von Oberflächen durch Plasmabehandlung
- Modellierung, Simulation und Optimierung von Produktionsabläufen
- ...

Technische Universität Dresden
Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Tel.: (0351) 463 36345
Fax: (0351) 463 37035

Technische Universität Dresden
Zentrum für mikrotechnische Produktion
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Tel.: (0351) 463 33274
Fax: (0351) 463 37069

http://www.avt.et.tu-dresden.de
http://www.zmp.et.tu-dresden.de
http://www.mikrotechnische-produktion.de
http://www.nanoeva.net