

DRUM PRÜFE, WER SICH EWIG BINDET...

Das InnoProfile-Projekt „TeSiMat“
in Berlin-Adlershof entwickelt neue,
schnelle Materialtestverfahren
für die Elektronikindustrie

Olaf Wittler, Bernhard Wunderle und ihre fünf InnoProfile-Kollegen sind sympathische junge Menschen, die gerne lachen. Aber Computerchip möchte man bei den Berliner Nachwuchsforschern nicht sein. „Da sind wir knallhart“, grinst Gruppenleiter Olaf Wittler. Stunden-, tage- und wochenlang werden die Bauteile geschüttelt, erhitzt, eingenebelt, es wird an ihnen gezerrt und gezogen – echter Stress für jeden Chip. „Es ist doch nur zu ihrem Besten“, sagt der promovierte Physiker vom „Micro Materials Center“ (MMC) am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), „schließlich sollen sie zuverlässig und langlebig sein.“ Klar, aber wozu der Aufwand? Wittler erklärt: „Die Elektronik hat unseren Alltag durchdrungen: Autos, Telefone, Kameras, selbst Wasch- und Spülmaschinen kommen heute nicht mehr ohne Mikrochips aus.“ Leider seien die elektronischen Bauteile den harten Praxisanforderungen nicht immer gewachsen. „Ständige Vibrationen in Auto oder Waschmaschine,

Hitze, Feuchtigkeit und Stöße bei Handy oder Kamera, und so weiter. Die Chips müssen ganz schön was mitmachen. Nur eins dürfen sie nicht – ausfallen“, sagt Olaf Wittler. Außerdem sollen sie immer kleiner werden, und immer mehr Funktionen haben: „Eine anspruchsvolle Aufgabe für die Chip-Designer. Wir wollen ihnen dabei mit Modellen und Simulationen helfen.“

Ein Knackpunkt der Zuverlässigkeit sind die Verbindungen der unterschiedlichen Bauteilwerkstoffe, so Wittler: „Wenn diese Bonds sich lösen, und das kann auf ganz vielfältige Weise passieren, ist der Chip meist bald am Ende.“ Und das dazugehörige Produkt natürlich auch. Ärgerlich für den Konsumenten, peinlich für den Produzenten. Um das zu vermeiden, machen die Chips bei TeSiMat eben einiges mit – meist so lange, bis sie dann doch ausfallen. „Aus diesen Experimenten lernen wir, und mit unseren Erkenntnissen können wir Simulationsmodelle für die



„Wir helfen Chip-Designern mit kombinierten Modellen und Simulationen, Verbindungen, Komponenten und Module zuverlässiger zu machen – und sie schneller zu entwickeln.“

Dr. Olaf Wittler,
Leiter der Nachwuchsforschungsgruppe

Industrie entwickeln, die helfen, die Mikro- und die Nanoelektronik zuverlässiger zu machen“, hofft der InnoProfile-Gruppenleiter. Olaf Wittler führt das Projekt „TeSiMat“ seit Mai 2006, und er klärt den etwas kryptischen Gruppennamen gleich zu Beginn: „Wir entwickeln ein Bewertungs- und Testsystem zur Sicherung der Zuverlässigkeit von Materialverbunden der Mikro- und Nanoelektronik“, wobei Wittler jeweils die ersten Silben von Test, Sicherung und Material besonders betont – TeSiMat also.

Zeit- und Kostenersparnis durch Modelle

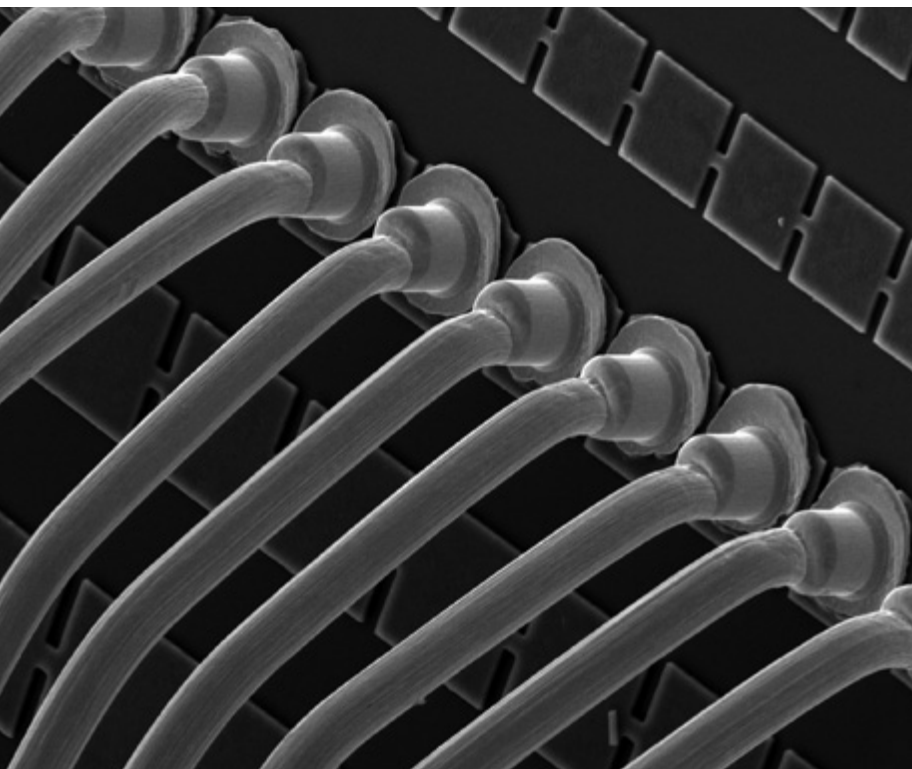
Gegenüber von Olaf Wittlers Büro im Berliner Technologiepark Adlershof steht in einem Labor die „Folterkammer“ (so der Tesimat-Jargon), ein chromglänzender 50-cm-Würfel, in dem Elektronikbauteile wochenlang bei Temperaturen bis zu 80 Grad C im Wasserdampf gerüttelt werden – so lange, bis sie Auflösungserscheinungen zeigen. „Das neue System ermöglicht uns die Untersuchung von Werkstoffverbunden, Komponenten und Modulen unter kombinierter Belastung – also Temperatur, Feuchte, Vibration und elektrische Schaltung“, erklärt Olaf Wittler: „So können wir beschleunigte Tests durchführen und den Belastungs- und Schadensverlauf während der Prüfung verfolgen.“ Dazu stehen bei Tesimat elektrische, thermische und optische Verfahren zur Verfügung, die je nach Anwendung modular eingesetzt werden. „Die Proben können vor und nach der Belastung mit verschiedenen Analyseverfahren untersucht werden, um den Schadensmechanismus zu zeigen“, so Wittler weiter. „Recht häufig ist die sogenannte Delamination, wenn

sich verbundene Materialien allmählich voneinander lösen“, weiß Versuchsleiter Ali Mazloum-Nejadari: „Eine Zeit lang funktioniert das Bauteil noch, aber irgendwann reißen die Kontakte, und dann ist Schluss.“ Ähnliche Versuche werden von der Chipindustrie natürlich auch selbst durchgeführt, sagt der Elektronik-Designer: „Aber das kostet Zeit, und davon hat man in der Mikroelektronikbranche am allerwenigsten.“ Also entwickelt Tesimat Modelle, die die Belastung elektronischer Bauteile simulieren – „mit großer Zeit- und Kostenersparnis“, betont Olaf Wittler.

Das bestätigt Jörg Michametow, Geschäftsführer des Laserdioden-Herstellers Eagleyard Photonics, nur ein paar Häuser vom Tesimat-Labor in Adlershof entfernt. „Wir müssen höchste Leistung auf kleinstem Raum unterbringen – das führt fast immer zu hohen Temperaturen“, sagt der Elektronik-Ingenieur und Firmengründer: „Die Tesimat-Modelle helfen uns, in der Produktentwicklung deutlich schneller zum Ziel zu kommen.“ So habe sich die Entwicklungszeit des aktuellen Lasermoduls von bisher rund zwölf Monaten glatt halbieren lassen. Zudem habe man die hohen Kosten für die komplizierten Versuchsaufbauten eingespart, so Muchametow: „Das können Sie heute als kleines Unternehmen nicht mehr leisten.“ Daher ist man bei Eagleyard über die Zusammenarbeit mit Tesimat sehr glücklich. „Hier haben wir die Möglichkeit, in unserem Sinn Einfluss auf die Wissenschaft zu nehmen“, sagt der Geschäftsführer: „Denn wir wissen doch eigentlich am besten, was die Kunden wollen, und welche Entwicklungen wirklich gebraucht werden.“ Mit Projekten wie Tesimat, die die Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft besonders fördern, so Muchametow, sei es den Unternehmen möglich, „für die richtige Richtung in der Forschung zu sorgen.“

„Design for Reliability“

Dass die Richtung beim InnoProfile-Projekt stimmt, glaubt auch Fraunhofer-Abteilungsleiter Prof. Bernd Michel. Tesimat gehört zum Bereich „Zuverlässigkeitsforschung für Mikrosysteme und Nanotechnologie“ seines „Micro Materials Center“ (MMC) am Institut für Zuverlässigkeit und Mikro-Integration (IZM). „Wir haben international eine stark beachtete Stellung erreicht“, sagt Michel: „Am MMC bauen wir zurzeit mit Unterstützung der Industrie und des Landes das ‚European Center for Micro- and Nano-Reliability‘, kurz Euceman, auf – ein Exzellenz-Zentrum



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Verbindungen auf einem Computerchip.

auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit für Hightech-Anwendungen im Mikro- und Nanobereich.“ Die Tesimat-Nachwuchsforschungsgruppe ist ein wichtiger Bestandteil der Forschungsarbeiten dieses Zentrums, so Michel: „In Kooperation mit dem IZM führt Tesimat wichtige Grundlagenforschung für die Chipfabriken in Dresden durch, aber auch für große Automobil- und Elektronikfirmen weltweit.“

Also aus dem Labor in die Praxis: Elmar Just, Leiter Technologieentwicklung des Siemens-Management-Buy-Outs Swissbit AG, einer der wichtigsten KMU-Partner des InnoProfile-Projekts, lobt die trotz hohem Forschungsanspruch große Praxishöhe des Nachwuchsforscherteams. „Die Tesimat-Wissenschaftler sind sehr pragmatisch. Sie wissen, dass wir in der Industrie Ergebnisse am besten immer gleich brauchen.“ Das notwendige Maß an wissenschaftlicher Genauigkeit gehe dabei jedoch nicht verloren, so der promovierte Mikrosystem-Techniker: „Da wird stets ein guter Kompromiss zwischen Schnelligkeit und Gründlichkeit gefunden.“ Im vergangenen Jahr hat Tesimat für Swissbit eine Computersimulation entwickelt, welche Parameter für ein optimales thermomechanisches Verhalten wichtig sind, und wie die Wärmeausbreitung in der aktiven Schicht des neuen DDR-2-

Arbeitsspeichers verläuft. „Das können Sie im Experiment nicht korrekt messen“, weiß Just: „Das Messkabel führt Wärme ab, was das Ergebnis völlig verfälscht.“ Die Erkenntnisse aus dem von Olaf Wittler und seinen Forschern entwickelten Modell seien sofort in das Produkt eingeflossen, erinnert sich Elmar Just: „Wir haben das Material angepasst, und so die Wärmedehnung besser in den Griff bekommen.“

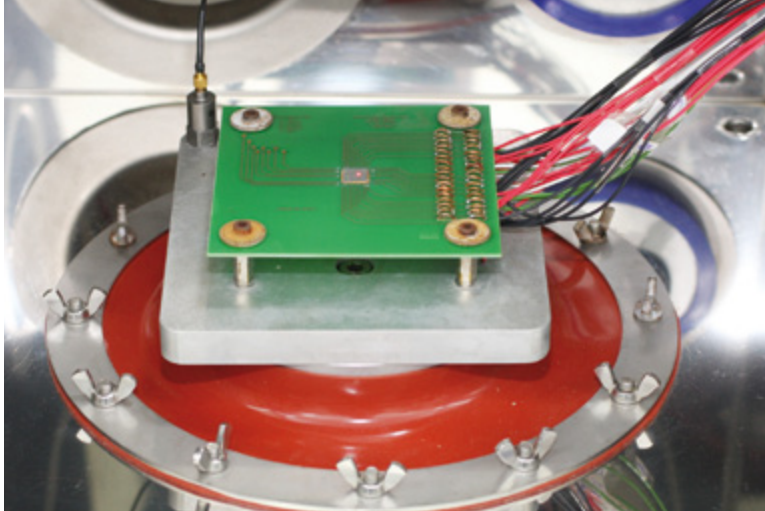
Die thermomechanische Zuverlässigkeit von Hochtechnologie-Mikrosystembauteilen ist einer der Schwerpunkte der Tesimat-Forschungsarbeit. „Unsere Spezialkompetenz ist die thermomechanische Simulation, die in Kombination mit neuesten, experimentellen Methoden angewandt wird“, erklärt Olaf Wittler: „Unsere Nachwuchsforscher haben große Erfahrung in der thermischen Untersuchung von komplexen Mikro- und Nanobauteilen in hochtechnologisierten Elektroniksystemen, etwa für die Bereiche Automotive, Luft- und Raumfahrt oder auch Sicherheit.“

Ein Beispiel: So wurde kürzlich für den Unternehmenspartner Spree Hybrid die schwierige thermische Auslegung eines neuen Lasertreibers untersucht. „Da ist viel Strom und Hitze im Spiel, und so waren die Anforderungen hoch“, erinnert sich Bernhard Wunderle: „Die Wärme musste raus aus dem Chip, die Materialien durften nicht zu teuer sein, aber trotzdem extrem zuverlässig.“ Da müsse auch ein Forscher wirtschaftlich denken, so Wunderle, „aber das haben wir schon bei Projektbeginn vor drei Jahren schnell gelernt.“

Dass Forscher wirtschaftlich denken lernen, und so die Bedürfnisse der Industrie besser einschätzen können, ist eines der zentralen Ziele des BMBF-Förderprogramms InnoProfile. „In den Neuen Ländern ist die wirtschaftliche Entwicklung in besonderem Maß von der Innovationsfähigkeit der KMUs, der kleinen und mittleren Unternehmen abhängig“, sagt Hans-Peter Hiepe, Referatsleiter für die „Unternehmen Region“-Förderprogramme: „Aber die regionalen KMU können vieles nicht alleine stemmen, und sind auf die Forscher vor Ort angewiesen.“ Um das Miteinander von Forschung und Wirtschaft weiter auf- und auszubauen, so Hiepe, setze das BMBF mit „InnoProfile“ auf die Zusammenarbeit zwischen Nachwuchsforschungsgruppen an Institutionen der öffentlich finanzierten Forschung und denjenigen Unternehmen, die das wirtschaftliche Kompetenzprofil ihrer Region prägen, und deren Markt- und Technologieentwicklung ein besonderes Potenzial habe.

Angst nehmen, Vorurteile abbauen

Unternehmen wie die Swissbit AG gehören wohl in diese Kategorie. Dass InnoProfile funktioniert, sagt auch Technologieentwickler Elmar Just: „Das Programm ist eine fast ideale Schnittstelle. So bringt man die Wissenschaft der Wirtschaft näher – und umgekehrt.“ Just hat selbst über zehn Jahre lang an Universitäten geforscht, bis er in die Wirtschaft ging. „Erst da habe ich wirklich gelernt, was Unternehmen brauchen.“ Förderprogramme wie InnoProfile seien für beide Seiten erfolgversprechend, so Just: „Sie nehmen der Wirtschaft die Angst vor der Wissenschaft, und bei den Wissenschaftlern bauen sie Vorurteile gegenüber der Wirtschaft ab.“ Bernhard Wunderle von Tesimat stößt ins gleiche Horn: „Wir wissen heute, was die Unternehmen brauchen. Daran hat InnoProfile einen guten Anteil.“ Das Programm passe zudem perfekt in die Strategie des Fraunhofer-Instituts. „Tesimat und das IZM setzen auf Kommunikation mit den Unternehmen“,



Ein Mikrochip in der „Folterkammer“ der Berliner „Tesimat“-Materialforscher. Wochenlang werden Computer-Bauteile dort bei Temperaturen bis zu 80 Grad C. im Wasserdampf gerüttelt.

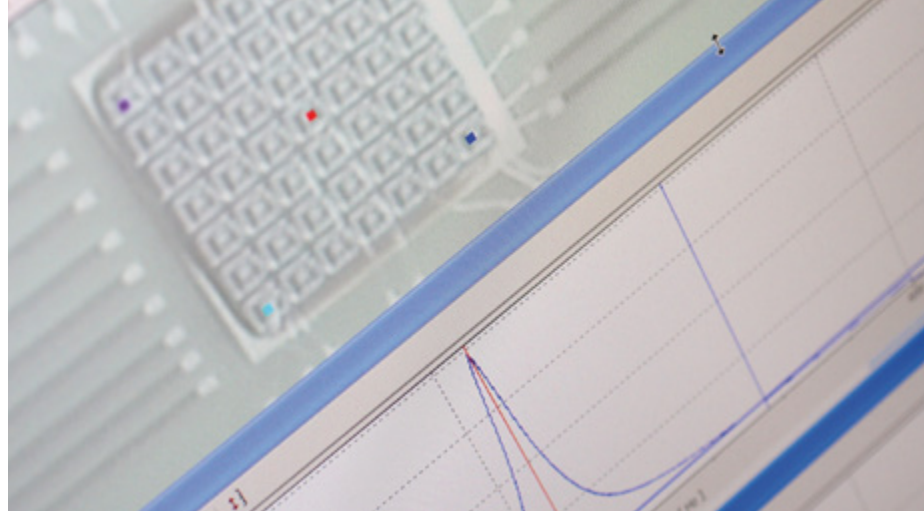
so Wunderle. Daraus ergäben sich vielfältige Kontakte, die immer wieder zu neuen Projekten führen.

Neue Projekte wie „Nanopack“, ein mit acht Millionen Euro von der EU gefördertes Verbundprojekt, bei dem Tesimat das thermische Verhalten von Grenzflächen untersucht. Und kürzlich haben Wittler und Wunderle ebenfalls bei der EU einen 3,5-Mio.-Projektantrag im Rahmen des „Clean Sky“-Konsortiums gestellt, in dem es um Materialeigenschaften und Integrationsdichte von Mikroelektronikbauteilen geht. Hier soll auch eine von Tesimat entwickelte Methode des „Molecular Modelling“ zum Einsatz kommen „Damit wird es möglich sein, Werkstoffe bereits auf Molekularebene gezielt da zu verstärken, wo die Belastung besonders hoch sein wird“, erklärt Bernhard Wunderle, und zeigt auf ein buntes Gittermuster auf dem Bildschirm seines PCs. Wunderle drückt eine Taste, und es bilden sich zusätzliche, unterstützende Strukturen in den Molekülgittern. „Wir haben theoretisch und in der Simulation gezeigt, dass unsere Methode funktioniert“, sagt Olaf Wittler: „Nun möchten wir das auch in der Praxis umsetzen.“

Bereits in die Praxis umgesetzt hat die Nachwuchsforschungsgruppe im November 2007 den ersten „Weltkongress zur MicroNanoReliability“, der von den Tesimat-Wissenschaftlern maßgeblich organisiert wurde. „Rund 450 Teilnehmern aus über 40 Ländern waren da – ein toller Erfolg“, erzählt Bernhard Wunderle nicht ohne Stolz. „Seitdem bekommen unsere jungen Mitarbeiter regelmäßig Einladungen in die führenden Forschungszentren der Welt.“ Zudem konnte die Nachwuchsforschungsgruppe im vergangenen Jahr auf wichtigen internationalen Konferenzen wissenschaftlich punkten: Auf der „ITherm“, der bedeutendsten Tagung in den USA zu thermischen Vorgängen in der Elektronik, erhielten Tesimat-Mitarbeiter gleich zweimal die Auszeichnung „best paper“ für herausragende Fachartikel. Ein weiteres „best paper“ gab es auf der europäischen Elektronikkonferenz ESTC in London.

Gefragt: Zerstörungsfreie Messungen

Zurück nach Berlin. „Etwas komplizierter wird es im Nanobereich, in den wir nun vordringen“, erklärt Olaf Wittler: „Die technischen Probleme, die hier zu Ausfällen führen, können bei solchen kleinen Strukturen durch Berechnungen nur noch mit Einschränkungen gelöst werden.“ Eine Analyse des werkstoffmechanischen Verhaltens sei notwendig, um Kenntnisse über die Vorgänge während der Herstellung beziehungsweise in der Anwendung zu erlangen, hakt Bernhard Wunderle ein: „Die zerstörungsfreie Messung solcher kleiner Bauelemente ist dringend notwendig, weshalb wir hier neue Messverfahren entwickeln“, so der promovierte Physiker, der im Sommer als Professor auf den Lehrstuhl für „Werkstoffe und Zuverlässigkeit mikro-



Auswertungs-Diagramm eines Materialversuchs

technischer Systeme“ der TU Chemnitz berufen wurde. Für die zerstörungsfreie Prüfung von Durchkontaktierungen in organischen Substraten wurde von Tesimat bereits ein Verfahren entwickelt, das nun auf Leiterplatten übertragen werden soll. „Das ist alles andere als trivial, denn es kommt auf kleinste Signale aus dem Rauschen an“, so Wunderle. Zur Kalibrierung und Interpretation werden diese Effekte dann mit modernsten Methoden der Feldkopplung modelliert.

Kaum weniger triviale Probleme hat Jürgen Keller vom Tesimat-Industriepartner Amic GmbH im Nanobereich. „Wir arbeiten derzeit an der experimentellen Erfassung der Kornorientierung an Materialgrenzflächen von Kunststoffen“, so der Geschäftsführer des Electronic-Design-Dienstleisters. Davon erhofft sich der promovierte Elektrotechniker Erkenntnisse über die Lebensdauer von elektronischen Komponenten und schickt deswegen regelmäßig einen Mitarbeiter zu Tesimat. Ebenfalls im Nanobereich bearbeitet Amic zusammen mit den InnoProfile-Wissenschaftlern ein EU-Projekt namens „NanoInterface“, bei dem der Charakter von Grenzflächen untersucht wird. „Wir entwickeln zusammen mit Tesimat die Auswertungssoftware und den Versuchsaufbau“, so der Amic-Geschäftsführer. Dazu werden mit einer Kamera der Brüche an Materialgrenzflächen beobachtet und anschließend analysiert. „Die Idee zum Projekt kam uns bei einer Besprechung mit dem Tesimat-Team“, erinnert sich Keller. Ein Mitarbeiter von Tesimat ist infolge des Projekts bei Amic eingestiegen. „Als Nebeneffekt wurde auch der eine oder andere Arbeitsplatz geschaffen“, sagt Olaf Wittler.

Eigenspannungen untersucht

Ein weiteres neues Tesimat-Projekt lotet die Anwendung der am IZM entwickelten sogenannten energiedispersiven Röntgendiffraktometrie (ED-XRD) in der Mikrosystemtechnik aus. „Dabei können Struktur, Gefüge und chemische Parameter des untersuchten Objekts synchron ermittelt werden“, erklärt Projektleiter Wittler: „Eine erheblich verkürzte Messzeit und ein wesentlich vergrößerter zerstörungsfrei analysierbarer Tiefenbereich sind weitere Vorteile.“ Bisher wurden Untersuchungen an Aluminiumdrähten, Silizium-„Powerchips“ und Leiterplatten mit einem chemischen Silber-Finish durchgeführt. An den Drähten wurden die im Werkstoff auftretenden Eigenspannungen ermittelt, zudem untersuchte man Eigenspannungen an den Powerchips, die beim Löten oder Kleben entstehen. „An Leiterplatten diverser Hersteller haben wir außerdem die Realstruktur des Silber-Finish ermittelt, und Unterschiede bei der Herstellung durch verschiedene Firmen gezeigt“, so Wittler weiter: „Insgesamt ergeben sich mit ED-XRD Messzeiten von unter einer Stunde, die aber für Routineanalysen noch erheblich verkürzt werden können.“ Damit die Chips ein bisschen weniger leiden ...