

VDE-Trendbericht



Mikro-Nano-Integration



Impressum

VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.

VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM)
Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main
Telefon 069 6308-227 · E-Mail gmm@vde.com · <http://www.vde.com>

Titelbild: Analytik Jena AG, FOX & CO GmbH | Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und
Mikrointegration | NASA/JPL-Caltech | Technische Universität Ilmenau, IMN MacroNano®
Gestaltung: Michael Kellermann · Graphik-Design · Schwielowsee-Caputh

Mai 2013

Mikro-Nano-Integration

**Ein Trendbericht der VDE/VDI-Gesellschaft
Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM)**

erstellt vom GMM-Fachausschuss 4.7
„Mikro-Nano-Integration“

Inhalt

Von der Nanotechnologie zur Mikro-Nano-Integration	6
Gesellschaftliche Akzeptanz	7
Beispiele für den Einsatz von Mikro-Nano-Integration zur Bewältigung der globalen Herausforderungen der Zukunft	9
Gesundheit und Ernährung	9
Nutzen für Klima und Energie	11
Von der wissenschaftlichen Idee zum wirtschaftlichen Erfolg	12
Fazit und Herausforderungen	14
VDE/VDI-GMM Fachausschuss „Mikro-Nano-Integration“	15

Prolog

Die Mikro-Nano-Integration verknüpft die Nanotechnologie mit der Mikrosystemtechnik und baut so die Brücke zwischen dem Nanokosmos und dem täglichen Leben, der Makrowelt. Im Gegensatz zu Nanopartikeln, die ihren Einsatz als „Schüttgut“ in vielen Anwendungen (Lotusfarben, Sonnenschutzmittel, antibakterielle Zusätze etc.) finden, befasst sich die Mikro-Nano-Integration mit Nanostrukturen, die fest mit einem technischen System verbunden sind. Im Kontext des von der Europäischen Kommission geprägten Begriffs der Key Enabling Technologies (KETs) berührt die Mikro-Nano-Integration gleich mehrere Ebenen, vornehmlich „Nanotechnology“, „Micro and Nanoelectronics“ und „Advanced Manufacturing Systems“. In der Hightech-Strategie 2020 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung bildet die Mikro-Nano-Integration die Brücke zwischen den Schlüsseltechnologien „Bio- und Nanotechnologie“, „Mikro- und Nanoelektronik“ und „Mikrosystem-, Werkstoff- und Produktionstechnik“.

Prof. Dr. Martin Hoffmann, IMN MacroNano® der TU Ilmenau:

„Ohne Mut zur Erforschung neuer technologischer Grundlagen würde es viele der heute bereits erfolgreich eingeführten Produkte aus der Mikro-Nano-Integration gar nicht geben. Auch der GMR-Effekt, für dessen Technologie Prof. Grünberg den Nobelpreis bekam, musste erst in eine marktreife Produktionstechnik überführt werden, bevor GMR-Sensoren kommerzielle Anwendungen erobern konnten.“

Von der Nanotechnologie zur Mikro-Nano-Integration

In den letzten Jahren hat die Erforschung der Nanotechnologie zahlreiche neue Effekte und Methoden hervorgebracht, die das bislang bestehende Bild von Werkstoffeigenschaften grundlegend verändert bzw. ergänzt haben.

Als Beispiele seien die Kohlenstoff-Nanoröhren oder das Graphen genannt, die völlig andere Materialeigenschaften als die makroskopischen Kohlenstoffmodifikationen Diamant und Graphit zeigen, oder auch die Aufklärung des Gecko- oder Lotus-Effektes, die beide auf natürliche nanostrukturierte Oberflächen zurückzuführen sind.

Auch bei der Mikro-Nano-Integration reicht allerdings der Nachweis von außergewöhnlichen Eigenschaften im Labor nicht aus, um anschließend ähnliche Erfolge im Bereich der Produktentwicklung zu erzielen. Der Phase der Euphorie während der wissenschaftlichen Erforschung folgt oft die Phase der Ernüchterung, die sich durch Fragen bei der technischen Realisierung einstellt: Wie kann man einzelne Nanoröhren gezielt anordnen und kontaktieren? Wie baut man aus Nanoröhren-Transistoren einen Prozessor, der von den besonderen Eigenschaften der Nanoröhren profitiert?

Hierzu sind in der Regel Forschungsarbeiten notwendig, die oft umfangreicher sind als die Entdeckung und Beschreibung des neuen Effektes selbst, die aber bei weitem nicht das gleiche Aufsehen erregen und oft nur schwierig zu finanzieren sind. Hierzu gehört auch die Entwicklung neuer Technologien und Anlagentechnik sowie das Upscaling und die Produktionsmengenerhöhung von Materialien.

Prof. Dr. Max Fleischer, Senior Principle Key Expert bei Siemens Corporate Technology:

„Die Verbindung der existierenden Mikrotechnologie mit der neuen Nanotechnologie wird es uns erlauben, neue, extrem konkurrenzfähige Produkte zu entwickeln und unsere deutsche Wirtschaft zu stärken. Wir streben einen engen Schulterschluss zwischen der universitären Forschung und der industriellen Entwicklung an, um dies zügig umzusetzen.“

Gesellschaftliche Akzeptanz

Zunächst einmal muss festgestellt werden, dass der Begriff „Nano“ in der Öffentlichkeit unscharf definiert ist. Eine der wissenschaftlich gebräuchlichen Definitionen liefert die amerikanische National Nanotechnology Initiative¹. „Nano“ symbolisiert jedoch oft nur die nächstkleinere Größenordnung unterhalb „Mikro“, also Strukturen, die deutlich kleiner als 1 µm sind. Gebräuchlich sind die Begriffe Nanopartikel, Nanomaterialien, Nanowerkstoffe, Nanotechnik.

Mikro-Nano-Integration bedeutet im Sinne dieses Papiers, dass Strukturen mit Abmessungen <300 nm in Mikrosysteme integriert werden, insbesondere auch in dreidimensionaler Anordnung. Die Nanostrukturen liegen in der Regel nicht als freie Objekte vor, sondern haben einen festen räumlichen Bezug zum tragenden Mikrosystem. Sie können subtraktiv durch Ätzen eines Mikrosystems erzeugt werden oder durch additive Verfahren auf diesem gezielt generiert werden.

Im umgangssprachlichen Gebrauch wird der Begriff „Nano“ oft inflationär verwendet. Durch diese fehlende Differenzierung werden auch die Vorbehalte, die in einigen Bereichen der Nanotechnologie berechtigterweise existieren, verallgemeinert und behindern damit pauschal die Entwicklung in anderen Nanotechniken.

Der Lotuseffekt ist hierfür ein Beispiel: Einige Sprays basierten vermeintlich auf der Wirkung von „Nanopartikeln“ und stellten sich als gesundheitsschädlich heraus, doch weder das Produkt noch das daraus resultierende Gefährdungspotenzial hatten etwas mit Nanotechnologie zu tun.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung hat sich der Fragestellung nach den Risiken der Nanotechnologie angenommen und dazu den Bericht „Vorsorgestrategie für Nanomaterialien“² veröffentlicht. Darin verweist er auf die mit „Nanomaterialien“ verbundenen potenziellen Risiken und kommt in seinem Schlussplädoyer zu der Aussage, dass neue Technologien vorsorgeorientiert weiterentwickelt werden sollten. Dies gilt natürlich ebenso in Bezug auf nanostrukturierte Oberflächen, für die noch weitergehende Untersuchungen zur Wechselwirkung mit biologischen Systemen notwendig sind.

-
- 1 Der Begriff „Nanotechnologie“ wurde durch die amerikanische „National Nanotechnology Initiative“ folgendermaßen definiert:
- F&E im Bereich von 1nm bis 100 nm
 - erzeugt und bedient sich Strukturen, die auf Grund ihrer Größe völlig neue Eigenschaften aufweisen
 - beruht auf der Fähigkeit, im atomaren Maßstab zu kontrollieren und zu manipulieren
- 2 Der Bericht ist zu finden unter <http://www.umweltrat.de>

Auf der anderen Seite kann man durch den Einsatz von Mikro-Nano-Integration in vielen Einsatzgebieten auch Beiträge zur Gefahrenminderung oder Umweltverträglichkeit leisten. Beispielsweise hat man in der Medizin- und Umwelttechnik durch den Einsatz von nanostrukturierten Oberflächen gute Möglichkeiten gefunden, schädliche Substanzen zu vermeiden. Dies erfolgt durch den Ersatz von chemischen Prozessen durch physikalische Wirkungen. So können sich Schadorganismen an nanostrukturierten Oberflächen oft gar nicht anlagern und müssen später nicht – wie bisher üblich – chemisch abgetötet werden.

Im Gegensatz zu Nanoteilchen, die als nicht oder nur schwach gebundener Zusatz zu anderen Werkstoffen eingesetzt werden, besteht bei der Mikro-Nano-Integration in der Regel ein weitgehend unlöslicher Verbund zwischen Trägerschicht und den Nanostrukturen. Damit ist eine Ablösung der Nanopartikel und damit eine Freisetzung in die Umwelt beim Einsatz von Mikro-Nano-Integration praktisch ausgeschlossen.

Beispiele für den Einsatz von Mikro-Nano-Integration zur Bewältigung der globalen Herausforderungen der Zukunft

Gesundheit und Ernährung

Jörg Weber, Vorlaufentwicklung Life Science, Analytik Jena AG:

„Zur Erfassung seiner Umwelt und zur Diagnostik der eigenen Gesundheit braucht der Mensch zur Analyse immer sensiblere Techniken. Geht es also um die Erfassung feinsten chemischer und biologischer Änderungen, wird uns die Weiterentwicklung der Mikro-Nano-Technik in die Lage versetzen, diese auch wirklich schnell auf der Nano-Ebene zu erkennen. Es werden also Sensorlösungen entstehen, die die Industrie in neue leistungsstarke Nachweis- und Assistenzsysteme – weit über den derzeitigen Stand hinaus – umsetzen kann.“

Der Nachweis von chemischen oder biologischen Indikatoren für den Zustand der menschlichen Gesundheit im Speziellen, aber auch der Umwelt im Allgemeinen bedeutet immer den spezifischen Nachweis von Molekülen. Strenge Anforderungen kommen dabei aus den Bereichen der menschlichen Gesundheit, insbesondere vor dem Hintergrund der immer älter werdenden Bevölkerung. Infektionskrankheiten müssen frühzeitig und sicher erkannt und eindeutig nach Gefährdungspotenzial klassifiziert werden, was auf molekularer Ebene möglich ist. Diagnostik von Krankheiten bis hin zu implantierbaren Sensoren, die ein Patientenmonitoring ermöglichen, aber auch intelligente Lebensmittelverpackungen, die die Qualität der in ihnen gelagerten Nahrung überwachen, erfordern neue Ansätze in der Mikro- und Nanointegration. Dies erfolgt durch die Verwendung hochreaktiver Nanostrukturen aus Funktionswerkstoffen, die bereits kleinste Mengen bestimmter Moleküle selektiv nachweisen können oder deren Veränderung auf einfache Weise im Mikrosystem nachgewiesen werden kann. Die Mikro-Nano-Integration wird einen entscheidenden Beitrag dazu liefern, dass die neuen Anforderungen, die aus den unterschiedlichsten großen Märkten, wie der medizinischen Diagnostik, der Biotechnologie, der Lebensmitteltechnik oder der Sicherheitstechnik kommen, erfüllbar werden: Sie liefert völlig neuartige, hochspezifische Sensorprinzipien, die kleinste Mengen an relevanten Stoffen mit hoher Effizienz nachweisen können, ohne dass dazu komplexe Laboranalytik notwendig wäre.

Wenn Nanoobjekte genutzt werden sollen, bedarf es Hilfsmittel, die „Nanowelt“ für den „Makrobereich“ zugänglich zu machen. Dies gilt neben den technischen Systemen auch besonders für die dafür notwendigen Produktionstechnik und in der Qualitätskontrolle. Es sind daher geeignete Schnittstellen erforderlich.

Werden technische Lösungen direkt in Organismen eingesetzt, wie es z. B. bei implantierbaren Sensoren der Fall ist, dann stellt die Grenzfläche zwischen biologischen und technischen Systemen eine große Herausforderung dar. An diesem Biointerface muss auf Nanoebene das Interagieren der beiden „Welten“ sichergestellt werden. Nanoskaliges Design des Biointerface, d. h. der nichtbiologischen Oberfläche von Implantaten als Grenzfläche zur biologischen Grenz-/Gewebeschicht, ermöglicht neben neuen biophysikalischen und -chemischen Materialeigenschaften (extrem hohe Festigkeiten, hydrothermale Beständigkeit, einstellbare Hydrophobie bzw. Hydrophilie etc.) insbesondere auch eine Funktionalisierung je nach Anforderung in Richtung bioaktiv, biotolerant oder bioinert. Es geht darum, den Organismus nicht zu beeinträchtigen und gleichzeitig die technische Funktion des Implantates aufrecht zu erhalten, d. h. das Implantat muss idealerweise eine Symbiose mit dem Organismus eingehen.

Die Integration nanoskaliger Strukturelemente in ebensolche nanoskaligen Materialoberflächen ermöglicht künftig völlig neuartige Funktionsbereiche in Gestalt von Nanotech-Sensor-Aktor-Gruppen, die autark bio-sensitiv auf Grenzflächenveränderungen biophysikalisch und oder biochemisch reagieren. Diese Biosensitiven Sensor-Aktor-Systeme werden in der Lage sein, energieautark und autonom auf die jeweilige in situ Dynamik in Grenzflächenbereichen ohne externe oder integrierte künstliche Intelligenz bioaktiv und/oder biosuppressiv adäquat zu reagieren.

Auch in technischen Systemen findet man die Grenzfläche zwischen Sensoren und dem zu messenden Medium, beispielsweise Trink- oder Abwasser sowie Meerwasser. Hier kommt es rasch zur Besiedelung der Oberfläche mit zahlreichen Organismen, die die Funktion der Sensoren beeinträchtigen. In beiden Fällen können nicht-chemische Nanostrukturen helfen, vor Fouling zu schützen und damit giftige Beschichtungen (die z. B. hochgiftige Tributylzinn-Verbindungen enthalten) zu reduzieren oder zu vermeiden.

Nutzen für Klima und Energie

Michael Philipps, Bereichsleiter Sensorik, Endress+Hauser:

„Die Weiterentwicklung der Grundlagen zur Mikro- und Nano-Strukturierung wird es uns ermöglichen, kompaktere Sensoren zu bauen, um die Aufgaben zur Erhöhung der Energieeffizienz anzupacken, d.h. technische Lösungen bereitzustellen, die heute noch nicht verfügbar sind.“

Damit die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien wie geplant bis 2022 gelingen kann, sind gewaltige Anstrengungen bei der Nutzung alternativer Quellen sowie der Reduktion des Energiebedarfs erforderlich. Hier kann Mikro-Nano-Integration neue Zugänge öffnen.

Werden Solarzellen, deren Bedeutung für eine umweltverträgliche Energiegewinnung bei der Nominierung zum Zukunftspreis 2011 des Bundespräsidenten besonders gewürdigt worden ist, noch effizienter durch Nanostrukturierung? Die erzeugten Ladungsträger müssen in nanostrukturiertem Silicium (oft als Black Silicon bezeichnet) deutlich geringere Wege im Material zurücklegen, die elektrischen Verluste werden damit reduziert und das Licht wird wesentlich effizienter absorbiert, wodurch eine nanostrukturierte Solarzelle tiefschwarz erscheint.

Wie kann die Mikro-Nano-Integration dazu beitragen, dass die Abwärme aus der Verbrennung fossiler Energieträger besser genutzt werden kann? Oder: In Kleidung und Gebrauchsgegenständen des Alltags könnten „Energy-Harvester“ eingesetzt werden, die z. B. den energieautarken Betrieb von Smartphones ermöglichen. Batterien wären hier überflüssig. Als Lösung bieten sich hier nanokristalline oder nanostrukturierte Materialien wie neue hocheffiziente Thermosäulen oder nanokristalline piezoelektrische Materialien wie Aluminiumnitrid an, die bleifrei sind und somit direkt in elektronische Schaltungen integriert werden können. Umsetzung und Einführung in den Markt ist dabei häufig Aufgabe von KMUs, die bei der Entwicklung bis zur Marktreife Unterstützung von Forschungseinrichtungen und Hochschulen bei der Einführung von Verfahren der Mikro-Nano-Integration benötigen.

Von der wissenschaftlichen Idee zum wirtschaftlichen Erfolg

Gabi Grützner, Geschäftsführung, micro resist technology GmbH:

„Gerade die KMUs zeigen oft Risiko-Bereitschaft und den permanenten Willen, mit der Forschung (Institute, Universitäten) zusammenzuarbeiten, um zügig und in überschaubarer Zeit mit neuen Produkten aus der Mikro-Nano-Integration auf den Markt zu kommen.“

Der ingenieurwissenschaftliche Brückenschluss über das „Valley of Death“ zwischen nanotechnologischen Prinzipien und den sie nutzenden kommerziellen Applikationen stellt die Herausforderung der nahen Zukunft dar. Es ist notwendig, erfolgversprechende Innovationen frühzeitig zu identifizieren und sie konsequent in Richtung einer wirtschaftlichen Verwertung voranzutreiben. Dies erfordert einen regen Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie, so dass auch die klein- und mittelständische Industrie (KMU) zu ermöglichen, von den Vorteilen der Nanotechnologie profitieren könnte.

Dr. Rolf Slatter (CEO sensitec GmbH) zu GMR-Sensoren der sensitec GmbH:

„Ohne kontinuierliche Forschung wäre aus den Grundlagen des GMR-Effektes nie eine so erfolgreiche Produktserie geworden! Der direkte Nutzen war zu Beginn gar nicht absehbar.“

Ganz besonders wichtig ist es, das „Valley of Death“ für Innovationen zu überwinden, das sich allzu oft zwischen der Grundlagenforschung mit dem grundsätzlichen Nachweis eines Effektes und den Projekten für dessen Anwendung im Zielmarkt auftut. Sehr oft fehlen den Wissenschaftlern die Forschungsmittel, um die dazu notwendigen Untersuchungen z. B. zur Reproduzierbarkeit und Stabilität vorzunehmen. Für Unternehmen wiederum stellen die Ergebnisse der Grundlagenforschung oft noch keine hinreichende Basis für umfangreiche Investitionen dar, die für einen Einstieg in eine neue Technologie im Produktionsmaßstab notwendig sind. Dieser oft risikoreiche Teil des Weges bleibt daher in der Regel nur Großunternehmen mit eigenen Forschungsabteilungen vorbehalten. Dabei bleiben viele Ideen und Konzepte sowie Chancen gerade für kleine und mittlere Unternehmen ungenutzt, die gerade außerhalb der Massenmärkte ihre Marktzugänge besitzen.

Olaf Mollenhauer, Geschäftsführer TETRA GmbH, Ilmenau:

„In der öffentlichen Wahrnehmung wird der innovative Beitrag der Mikro-Nano-Integration in den Wertschöpfungsketten aller Branchen und Märkte, in denen gemessen oder geregelt werden muss, unterschätzt. Die notwendigen, für KMU hohen F&E-Aufwendungen für die MNI können oft mittelfristig nicht aus den direkten Erlösen refinanziert werden. Dennoch wird der internationale Wettbewerb durch die systemische Integration von MNI-basierten Produkten gerade in den Anwendungsbereichen Ressourceneffizienz, Kommunikation und Mobilität sowie Life Science bestimmt werden.“

In einem von KMU dominierten Industrieumfeld stellen Vernetzung und Kooperation wichtige Voraussetzungen dar, um im weltweiten Wettbewerb an der Spitze zu bleiben. Eine starke Fokussierung bei der Forschungsförderung auf einen unmittelbaren Anwendungsbezug bedeutet für die fertigenden Unternehmen oft zu viele Schritte auf einmal. Hierfür sei auf die Problematik hingewiesen, dass zwar der Aufbau eines Demonstrators gelingt, aber noch kein im industriellen Umfeld umsetzbarer Fertigungsprozess verfügbar ist. Damit bleibt auch dann eine zeitliche Verzögerung zwischen Konzept und Markteintritt, wenn mit dem Demonstrator Kunden gewonnen werden können.

Die angesprochene Problematik führt dazu, dass die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Nanotechnologie in Deutschland zwar weltweit führend ist, der Weg zu marktfähigen Produkten allerdings nicht geebnet ist und damit in anderen Regionen der Welt die Umsetzung oft schneller erfolgt.

Fazit und Herausforderungen

Aus der Sicht des VDE ist es zwingend notwendig, den Lückenschluss zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung beschleunigt voranzutreiben. Die deutsche Industriestruktur im Bereich der Mikro- und Nanotechnologien, die von hochinnovativen KMUs geprägt ist, wird in den meisten Fällen nicht in der Lage sein, aus der Grundlagenforschung in nur einem Schritt marktfähige Lösungen zu generieren. Sie benötigt Unterstützung bei der Überwindung der produktionstechnischen Herausforderungen, die vor einem Markteintritt generell zu lösen sind. Ansonsten droht der Verlust des Wettbewerbsvorteils, der durch erfolgreiche Grundlagenforschung erarbeitet wurde.

Darüber hinaus droht eine Vergrößerung der Lücke, wenn die Forschungseinrichtungen bei der Umsetzung von Grundlagenerkenntnissen in Demonstratoren keine hinreichende Unterstützung finden.

VDE/VDI-GMM Fachausschuss „Mikro-Nano-Integration“

Der Fachausschuss „Mikro-Nano-Integration“ führt die Aktivitäten von Forschung und Industrie zur Nutzung von Nanotechnologien in der Mikrosystemtechnik zusammen. Er koordiniert und fördert einen Wissens- und Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Mikro-Nano-Integration.

Ziel ist es, die Potenziale der Nanotechnologie durch die Integration in Mikrosysteme besser auszunutzen und eine Brücke zwischen Wissenschaft und industrieller Anwendung zu schlagen. Fragen der reproduzierbaren Fertigung und der Qualitätssicherung stehen dabei ebenso im Fokus wie der Aufbau von Wertschöpfungsketten.

Der Fachausschuss setzt sich zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Industrie, darunter insbesondere auch aus kleineren und mittleren Unternehmen (KMU), sowie aus Hochschulen und Forschungsinstituten, die sowohl Grundlagen- als auch angewandte Forschung betreiben. Die Mitglieder suchen über einen intensiven Austausch, u.a. in regelmäßigen Treffen und öffentlichen Workshops, nach einer Überwindung des „Valley of Death der Innovation“ durch Kooperation. Darüber hinaus entstehen durch den Austausch in Fachausschusssitzungen und thematischen Workshops permanent neue Ideen für innovative Produkte und für neue Kooperationen der Mitglieder.

VDE

**VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.**

Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main

Telefon 069 6308-0
<http://www.vde.com>
E-Mail service@vde.com

