

Paradigmenwechsel in der Mikrosystemtechnik

VON DER STANDARDWARE ZUM SENSOR ON DEMAND

Mikrotechnologie ist im modernen Alltag allgegenwärtig. Die Fortschritte und Neuerungen, die sie ermöglicht hat, sind nicht mehr wegzudenken. Doch Sensoren und Datenspeicher sind in der Entwicklung und Produktion sehr teuer und werden daher in hoher Stückzahl produziert. Am Institut für Mikroproduktionstechnik arbeiten Wissenschaftler daran, auch Sonderanfertigungen rentabel zu machen.

In den Industriestaaten und zunehmend auch in den Schwellenländern nutzt der Mensch täglich Geräte, die nicht funktionieren würden ohne all die winzigen Bauteile, die auf elektronischen, mechanischen, optischen oder fluidischen Prinzipien beruhen. Eines der präsentesten Beispiele ist das Smartphone. Allein in Deutschland nutzten im ersten Quartal des Jahres 2012 laut einer von Google in Auftrag gegebenen Studie 29 Prozent der deutschen Bevölkerung jeden Tag ein solches Gerät. Im Vorjahr waren es noch 18 Prozent (1. Quartal 2011). Das lässt auf einen großen Wachstumsmarkt schließen. Weltweit überschritt im Jahr 2012 die Zahl der Smartphone-Nutzer die Grenze zur ersten Milliarde (Quelle: Strategy Analytics, Oktober 2012). Gemäß Digitimes Research wird für das Jahr 2013 ein weltweiter Anstieg der Smartphone-Lieferungen von 30 Prozent vorhergesagt. Auch die Automobilindustrie ist auf die Mikrotechnologie angewiesen. Mit Stückzahlen von etwa 80 Millionen für PKW und Pickups für das Jahr 2012 lässt sich leicht der Bedarf an entsprechender Mikrosensorik und -aktorik abschätzen, der in diesem Segment besteht.

Die hohen produzierten Stückzahlen für die genannten Anwendungen ziehen einen ebenso großen Bedarf an mikroelektronischen Funk-

tionselementen nach sich. Massenfertigung ist in der Mikrotechnik Standard. Unabhängig davon, wo die Bauteile eingesetzt werden sollen, ob als Sensor im Fahrzeug, als Datenspeicher im Computer oder als Aktor in medizinischen Implantaten, die Prozesse und Methoden und auch die Materialien zur Herstellung sind teuer. Die Reinraumtechnik und die Anlagentechnik für die Fertigung und Charakterisierung mikrotechnischer Bauteile sind ebenfalls aufwändig. Aufgrund positiver Skaleneffekte ist daher die Massenfertigung im Nutzen, die Batch-Fertigung (Chargenprozess, diskontinuierliche Produktion) die angemessene Strategie, um die hohen Kosten auf eine Vielzahl simultan gefertigter Komponenten umzulegen. Damit ist es trotz hoher Investitionskosten möglich, kostengünstiger zu produzieren und neue Wachstumsmärkte bedienen zu können. Die großen Skalenvorteile bergen jedoch einen Nachteil: Die Vielfalt bleibt auf der Strecke. Die erzeugten Standardwaren erfüllen ihre Aufgaben in den genannten Anwendungen zuverlässig und präzise. Für Sonderanwendungen oder für extreme Umgebungsbedingungen sind sie allerdings nicht immer geeignet. Für Industriezweige, die den Bedarf an Investitionsgütern decken, sind derzeit Sonderentwicklungen für Anwendungen mit geringen Stückzahlen nur

schwer und vor allem mit hohen Kosten realisierbar. Dabei besteht auch in diesem Bereich der Bedarf an innovativen, miniaturisierten Sensorlösungen. Betriebsmittel wie Produktionsanlagen benötigen zunehmend empfindlichere, zuverlässigere und vielseitigere Sensorik, um die permanent steigenden Qualitätsanforderungen der Kunden abdecken zu können. Gerade bei Fertigungsanlagen, die eine hohe Investition darstellen, sind Produktionsausfälle durch Maschinenstillstand oder durch fehlerhaft produzierte Komponenten nicht akzeptiert und stellen immense Zusatzkosten dar. Die Entwicklung geht daher auch in Richtung intelligenter Fertigungssysteme und kognitiver Fabriken.

Die Anforderungen an eine in diesem Umfeld eingesetzte Sensorik gehen über die der Konsumelektronik weit hinaus. Einerseits herrschen in vielen Maschinenumgebungen der industriellen Fertigung oder am Einsatzort extreme Umgebungsbedingungen. Die Temperaturen erreichen oder übersteigen gar Werte von 120 °C. Die Sensoren sollten aber gleichzeitig bei Temperaturen von mindestens -40 °C funktionstüchtig bleiben. Neben der Temperatur sind es eine hohe Feuchte oder auch Belastungen durch Chemikalien sowie mechanische Erschütterungen, die zusätzliche Beanspruchungen darstellen.

Andererseits machen die veränderten Umgebungsbedingungen auch andere Aufbau- und Verbindungstechniken zur Kontaktierung und Montage erforderlich. Damit verbunden ist oft die Notwendigkeit, andere Werkstoffe einzusetzen. Anstelle des in der Mikroelektronik hauptsächlich verwendeten Siliziums als Substratwerkstoff bieten sich polymerbasierte oder metallische Substrate an (z.B. MEMS auf PCB, Abb. 1).

günstiger werden oder durch wirtschaftlichere Prozesse ersetzt werden können.

Prozesseitig bietet die Kombination der Mikrosystemtechnik mit zum Beispiel klassischen Bearbeitungsverfahren der Feinwerktechnik sowie den Methoden der Nanotechnologie Möglichkeiten für neue Entwicklungen. Ein typisches Bauteil wie zum Beispiel ein Werkzeug mit mikro- und nanostrukturierten Funktions-

gie der Nanotechnologie mit einbezogen, etwa die Nanoprägelithographie (Nanoimprint), die ähnlich wie die Prägelithographie im Buchdruck in sehr kleinem Maßstab funktioniert. Ein »Stempel« mit Strukturen im Mikro- und Nanobereich wird in einem Mono- oder Polymer abgeformt. Weitere Möglichkeiten bestehen außerdem im Bereich der additiven Verfahren auf Mikroniveau, etwa in der Galvanik oder beim Drucken.

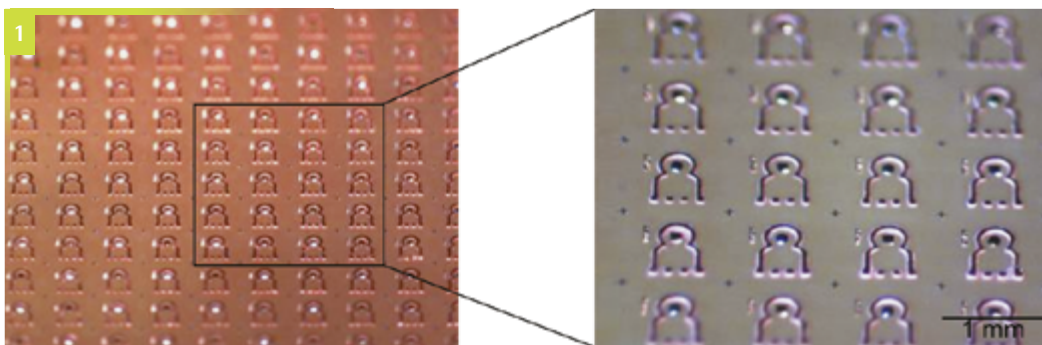


Abbildung 1
Direktstrukturierte elektromagnetische MEMS auf einem Printed Circuit Board (PCB)
Quelle: ECS Trans. 2011 volume 33, issue 34, 69–80

Fazit: Wir brauchen individualisierte Sensorik, die auch in kleinen Stückzahlen günstig produziert werden kann. Neben dem Einsatz im Maschinenbau bietet dieser Ansatz neue Möglichkeiten etwa in der Medizintechnik oder Automatisierungstechnik, im Land- und Baumaschinenbau.

Die ökonomischen und technologischen Vorteile sprechen für sich. Es muss also eine neue »angepasste« Sensorik her, aus der sich ebenfalls eine Notwendigkeit angepasster Produktionsprozesse für mikrorotechnische Bauteile ableitet.

Angesichts dieser Herausforderungen drängt sich eine Umorientierung der Mikroproduktion in Richtung einer flexiblen, adaptiven Produktion als möglicher Lösungsansatz auf. Auf dem Weg zu einer solchen Individualisierung müssen verschiedene Hindernisse überwunden werden. Bestehende Prozesse müssen sich derart wandeln, dass sie

flächen weist skalenerübergreifende Strukturabmessungen im Bereich von wenigen Millimetern über Mikrometer bis hin zu Nanometern auf. Um ein solches Bauteil herstellen zu können, benötigt man beispielsweise klassische mechanische Bearbeitungsverfahren im Zusammenspiel mit mikro- und nanotechnologischen Prozessen. Ziel muss es hier sein, die für das individuelle Bauteil optimale Technologie einzusetzen, statt sich nur auf die für den Anwendungsfall übliche Technologie zu beschränken.

Ein Beispiel: Neue Produktionsverfahren und -methoden aus der Nanotechnologie werden in die Mikrosystemtechnik übernommen und an diese angepasst. Statt des in der Mikrotechnologie vorherrschenden »top-down«-Ansatzes, bei dem mikro- und nanoskopische Strukturen durch Wegnahme von Material bzw. Zerkleinerung erzeugt werden, wird die »bottom-up«-Strate-

Analog zum Buchdruck erlaubt das nanotechnologische Verfahren des Nanoimprints die kostengünstige Replikation der zu »stempelnden« Strukturen. Der »Stempel« kann mittels Elektronenstrahlolithographie und Ionenstrahlolithographie strukturiert werden. Diese Technologien erlauben es, bei überschaubaren notwendigen Investitionen in den Bereich von Strukturen unter 100 Nanometer vorzudringen. Die Selbstorientierung von Molekülen, kombiniert mit Stempelprozessen unter Verwendung von Nanoimprint-Masterstrukturen, erlaubt die Strukturübertragung. Die erzeugten Strukturen finden zum Beispiel in integrierten Schaltungen Einsatz.

Parallel finden in der Mikrostrukturierung bereits Entwicklungen in dieser Richtung statt. Die Laser-Direktstrukturierung kann die klassische Kontaktbelichtung, die auf der Verwendung von Glasmasken



Prof. Dr.-Ing. Lutz Rissing

Jahrgang 1966, ist Professor am und Leiter des Instituts für Mikroproduktionstechnik an der Leibniz Universität Hannover. Sein Forschungsgebiet ist die Mikrosystemtechnik mit dem Schwerpunkt Mikroproduktionstechnik. Kontakt: rissing@impt.uni-hannover.de

beruht, in Teilen ersetzen und erlaubt es, auch gekrümmte Oberflächen zu belichten und ermöglicht damit die direkte Applikation von Sensorik auf Bauteilen. Die Laserlithographie eröffnet die Möglichkeit, durch Belichtungsprozesse komplexe dreidimensionale Strukturen zu belichten. Aber auch die klassischen Prozesse bieten neue Möglichkeiten, wenn nicht mehr klassische Siliziumsubstrate verwendet werden, sondern Sensoren auf Folien abgeschieden werden, wobei dann die Gesamtdicke des Folienaufbaus unter 20 Mikrometer beträgt. Diese Prozesse liefern damit bereits heute Ansätze zur Herstellung flexibler, substratloser Mikroelektronikbauteile, wie das Beispiel des Wirbelstromsensors auf Polymerfolie zeigt (Abb. 2).

Dieser Paradigmenwechsel ist jedoch kein Selbstläufer, die Anpassung der Produktionsprozesse erfordert ein grundlegendes Umdenken. Eine wichtige Rolle spielt der Systemgedanke. Lassen sich Kostenvorteile nicht durch wirtschaftlichere Prozesse erreichen, müssen sie auf anderem Wege realisiert werden. Große Potenziale bergen hier die Einbeziehung der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) in den Systementwurf, die Integration der Komponenten zur Datenauswertung und -kommunikation sowie der Einsatz neuer Materialien, die als Ersatz für teure und seltene Stoffe dienen können.

Was also bringt die individualisierte Produktion für mikrotechnische Sensor- und Aktorbauteile? Die durch die Mas-

Sensorik eröffnet für die Mikrotechnik auf diese Weise innovative Einsatzbereiche in der industriellen Fertigung und anderen anspruchsvollen Applikationen.

Dies ist heute zum Teil noch eine Vision; es ist auch unsere Vision. Die Bedarfe sind identifiziert, die Möglichkeiten vielfältig. Das IMPT wird seinen Beitrag dazu leisten, diese Vision zu realisieren.

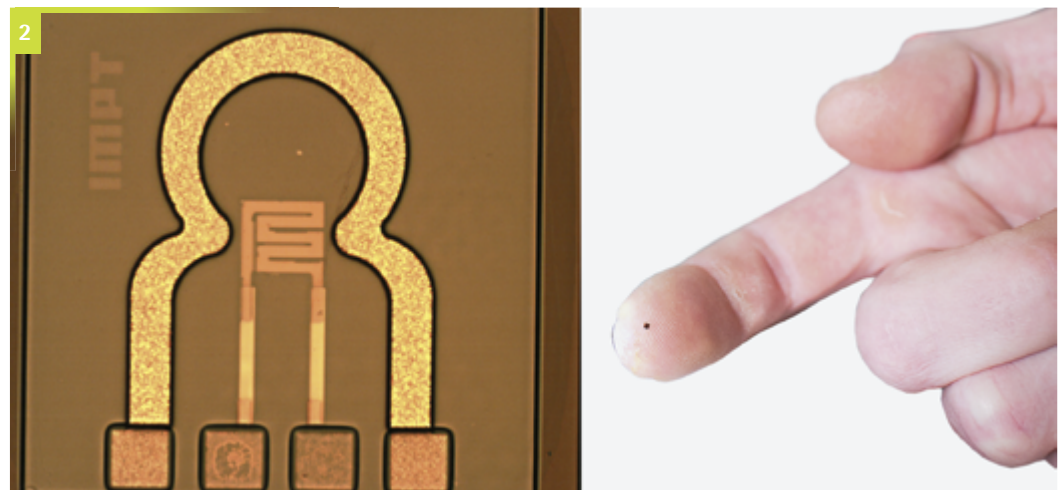


Abbildung 2
Wirbelstromsensor auf Polymerfolie (Dicke 20 µm, laterale Abmaße 1x1 mm²)

Die Entwicklung und der Einsatz bisher nicht genutzter, neuartiger oder verbesserter Werkstoffe eröffnen für den beschriebenen Ansatz die Vorteile einer ökonomischen Fertigung und erweiterter Einsatzgrenzen der sensorischen Bauteile.

senfertigung vorgegebenen Beschränkungen in Bezug auf Realisierung von Sensoren für Spezialanwendungen, die nur geringe Stückzahlen bei hohen Anforderungen benötigen, würden aufgehoben. Die vielfältigen Umgebungsbedingungen machen den Einsatz anderer Werkstoffe erforderlich und fördern die Entwicklung angepasster Werkstoffe. Die wirtschaftliche Produktion flexibler und adaptierbarer