

ITM-33: TEKNOLOGI MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS

Slamet Widodo dan Tony Kristiantoro

PPET-LIPI, Jl. Sangkuriang Komp. LIPI Bandung 40135

No.Telp/Fax:022-2504660/022-2504659,

E-mail: slametwido50@gmail.com dan slametwi_dodo@yahoo.co.id

Abstrak

Dalam paper ini diuraikan tentang teknologi Microelectromechanical sistem (MEMS) diaplikasikan dalam beberapa bidang diantaranya biologi, kimia, fisika, telekomunikasi, elektronika, medical, pertahanan dan lain sebagainya. Sebuah sistem microelectromechanical (MEMS) adalah salah satu komponen (devais) yang relatif kecil (skala mikro) terdiri dari komponen (devais) mikromekanik (seperti microgears, microlevers, dll), yang bergerak baik dalam respon terhadap rangsangan tertentu (sensor) atau berinisiatif untuk melakukan tugas tertentu (aktuator); dan komponen mikroelektronik untuk mendapatkan informasi atau mengendalikan gerak. Dalam arti yang lebih luas, teknologi yang terkait dengan MEMS termasuk material dan proses yang dibutuhkan untuk membuat komponen MEMS, integrasi komponen untuk membuat perangkat MEMS (sensor, aktuator, dll) dan aplikasi yang menggunakan devais (perangkat) MEMS. Selain itu, microsystems lain seperti reaktor microchemical, sistem microthermal dan bahan pintar (seperti paduan memori bentuk) juga kadang-kadang dimasukkan dalam Teknologi MEMS "berdasarkan utilitas nya dalam sensor atau aktuator atau sebagai sumber daya, heat sink, dll. Dalam aplikasi sipil dan komersial, MEMS menawarkan keuntungan di berbagai bidang antara lain sebagai kontrol otomotif dan sistem keamanan, komunikasi, kontrol satelit, peralatan medis dan pemantauan kesehatan, namun, perangkat non-MEMS seringkali sudah ada untuk aplikasi ini. Jika pengembangan alternatif MEMS adalah bermanfaat, perangkat MEMS baik harus mengisi kesenjangan kemampuan, yaitu, baik itu harus melakukan fungsi baru, menjalankan fungsi lebih baik daripada saat ini dapat dilakukan atau lebih murah, lebih ringan atau lebih kecil daripada saat perangkat yang tersedia. Untuk aplikasi komersial, itu juga harus ekonomis, yakni, harus ada permintaan yang cukup untuk perangkat baru yang akan menguntungkan.

Kata kunci: MEMS, aplikasi, devais, sensor, aktuator.

Abstract

In this paper described the technology Microelectromechanical systems (MEMS) was applied in several fields including biology, chemistry, physics, telecommunications, electronics, medical, defense and so forth. A microelectromechanical system (MEMS) is one of the components (devices) are relatively small (micro scale) consists of components (devices) micromechanical (like microgears, microlevers, etc.), which moves both in response to certain stimuli (sensors) or the initiative to perform certain tasks (actuators), and microelectronic components to obtain information from, or control, or motion. In a broader sense, associated with MEMS technology, including materials and processes required to make MEMS components, integration components to create MEMS devices (sensors, actuators, etc.) and applications that use the devices (device) MEMS. In addition, other microsystems such as microchemical reactors, microthermal systems and smart materials (such as shape memory alloy) are also sometimes included in MEMS Technology "based on its utility in sensors or actuators or as a source of power, heat sink, etc. In civil and commercial applications, MEMS offer advantages in various fields such as automotive control and safety systems, communications, satellite control, medical equipment and health monitoring, however, non-MEMS devices are often already exists for this application. If development is a useful alternative to MEMS, MEMS devices either have to fill capability gaps, ie, whether it should perform new functions, perform the function better than can currently be done or cheaper, lighter or smaller than the current available devices. For commercial applications, it also must be economical, ie, there must be sufficient demand for new devices that will be profitable.

Keywords: MEMS, applications, devices, sensors, actuators.

1. PENDAHULUAN

Penemuan transistor pada tahun 1947 oleh John Bardeen dan Walter Brattain dari Bell Labs menandai awal dari sebuah revolusi di bidang teknik listrik yang akhirnya menyebabkan lahirnya sistem micro electromechanical (MEMS). Segera setelah penemuan penting, penelitian pun terjadi pada kecepatan yang hiruk pikuk dalam pengembangan bidang mikroelektronika menghasilkan pengenalan transistor silikon komersial pada tahun 1954 dan penemuan sirkuit terpadu pertama (IC) oleh Jack Kilby dari Texas Instruments pada tahun 1958. Salah satu pionir awal, Gordon Moore, membuat observasi cerdas pada tahun 1965 bahwa jumlah komponen per IC akan berlipat ganda setiap 2 tahun. prediksi Moore, sekarang dikenal sebagai Hukum Moore, tidak sepenuhnya benar dan benar-benar mengikuti trend dua kali lipat 18-bulan. Meskipun demikian, tingkat pertumbuhan fenomenal ini berarti bahwa kita sekarang dapat menikmati komputer pribadi yang berjalan pada kekuatan komputasi puluhan juta transistor dalam bentuk paket CPU sentimeter skala [1]. Dampak perkembangan ini telah di masyarakat dan cara kita hidup adalah meresap dan mendalam. Dalam bidang teknik, boom dalam penelitian mikroelektronik telah spin-off teknologi baru yang tak terhitung jumlahnya yang terus-menerus mengubah cara di mana solusi insinyur untuk masalah. MEMS terinspirasi oleh teknologi yang digunakan untuk membuat perangkat mikroelektronik ke perangkat elektromekanik adalah perkembangan alami dalam evolusi teknologi dunia Sirkuit Terpadu (IC).

1.1 Sejarah MEMS

Mungkin salah satu peristiwa sejarah yang paling penting dalam pengembangan MEMS adalah ketika Richard Feynman menantang komunitas ilmiah untuk menjelajahi dunia miniaturisasi. Selama

berbicara kepada American Physical Society di 1959 dijuluki "Ada Banyak Ruang di Bawah," kata Feynman keluar kekosongan dalam penelitian dilakukan pada dia untuk menjelaskan kepada para ilmuwan "memanipulasi dan mengendalikan hal-hal dalam skala kecil." Bahwa bidang ini "mungkin memberitahu kita banyak yang sangat menarik tentang fenomena aneh yang terjadi dalam situasi yang kompleks banyak hal baru yang akan terjadi yang mewakili peluang benar-benar baru untuk desain "dan bahwa" itu akan memiliki sejumlah besar aplikasi teknis "Dalam rangka untuk benar. mengeksplorasi bidang ini dan dapat membangun mesin kecil, itu akan diperlukan untuk merancang satu set baru mesin sangat kecil yang tidak hanya membutuhkan penskalaan tetapi juga mendesain ulang. Ironisnya, peralatan modern yang digunakan untuk membangun peralatan semikonduktor dan MEMS ini tidak berarti sangat kecil tetapi ada harapan dalam self-assembly dan nanoteknologi bahwa mesin-mesin kecil dapat terwujud.

Sebagai teknologi MEMS telah mencapai kematangan, diharapkan bahwa dalam 20 tahun mendatang, akan ada banyak pembangunan di arena aplikasi MEMS. MEMS telah jelas menjadi sebuah teknologi internasional yang dibuktikan dengan berbagai istilah yang digunakan untuk menjelaskan dalam berbagai daerah di dunia ("MEMS" atau "micromachining" di AS, "Microsystems" di Eropa dan "micromachines" di Jepang). Tabel-1: beberapa daftar momen dan perkembangan penting dalam sejarah MEMS.

Tabel-1 Sejarah MEMS

Tahun	Perkembangan
1950	Rangkaian Terintegrasi (IC), Metal Sacrificial Process
1960	Sensor Piezoresistif Silikon Sensor (Honeywell) (4), Resonant Gate transistor (Westinghouse Labs) (7,8)

1970	Transducer Tekanan Silikon (Honeywall), Kromatografi Gas Terpadu (9), Ink Jet Nozzle (IBM) (10), KOH Etching
1980	Silikon sebagai Bahan Mekanikal (5), Micromachining Polysilicon Permukaan, Micromotors Polysilicon (11,12), Silicon Wafer Bonding (13), Liga (14)
1990	Accelerometer Komersial (Analog Devices) (6), Mirror Display Digital (TI), Switch Optical Network (Lucent), Silicon giroskop (Draper Labs), MEMS RF, MEMS Optical, BioMEMS, TMAH Etching, EDM Mikro, Ion Reaktif Deep Etching (DRIE)
2000	Dominated energy dissipation in ultrathin single crystal silicon cantilever surface loss, Microfluidic oscillator using vapor bubble on thin film heater, Micromachined dispenser with high flow rate and high resolution, Paraffin actuated surface micromachined valves.
2010	Biomimetic microactuators based on polymer electrolyte/ goldcomposite driven by low voltage, Ink jet fabricated nanoparticle MEMS, Microrelay packaging technology using flip-chip assembly, Ultrasonically driven surface micro-machined motor, Fluid drive chips containing multiple pumps and switching valves for Biochemical IC Family, Performance of hydrothermal PZT film on high intensity operation, etc.

Bahan dan teknik yang digunakan dalam MEMS secara terus menerus berkembang. Teknologi MEMS masih sebagian besar didasarkan

pada teknik industri semikonduktor. Beberapa proses pada dasarnya identik dengan analog industri semikonduktor, namun proses lainnya telah disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Fokus yang mendasari proses semikonduktor vs proses MEMS dapat berbeda secara drastis sejauh yang sering tidak mungkin atau sangat sulit untuk mengintegrasikan baik elektronik dan MEMS pada bagian yang sama real estat. perangkat semikonduktor Microfabricated yang terkandung terutama dalam beberapa mikron atas bahan substrat. Devais MEMS mungkin memerlukan ketebalan kedua sisi substrat, atau bahkan membutuhkan beberapa ikatan substrat bersama.

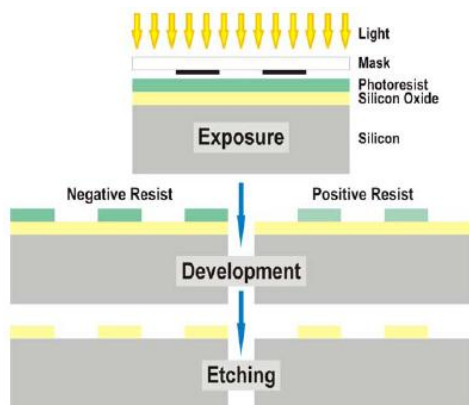
1.2 Teknik Dasar MEMS

Teknologi MEMS berbasis pada teknologi silikon atau fabrikasi semikonduktor. Selain silikon, alternatif substrat seperti logam, kaca / kuarsa, keramik, plastik, dan karet silikon yang lebih populer. Untuk perubahan ini adalah keinginan untuk bergerak menuju produksi alat-alat yang biokompatibel, dengan menggunakan bahan lebih murah, dan mudah untuk mendesain baik dari sudut pandang proses dan mempertimbangkan infrastruktur yang diperlukan untuk melakukannya. Meskipun demikian, sebagian besar devais (perangkat) masih dibuat dari bahan silikon karena sifat listrik dan mekanik [5]. Devais MEMS berbasis silikon juga menarik bahwa ada kemungkinan mengintegrasikan komponen elektronik di samping perangkat MEMS pada substrat yang sama.

1.2.1 Litografi

Litografi adalah sebuah metode yang mentransfer pola yang terdapat pada master untuk substrat. Ide dasar bukanlah konsep baru dan telah sebenarnya telah dipekerjakan oleh pengrajin sejak [12] tahun 1700-an. Litografi dalam beberapa bentuk biasanya

langkah pertama dalam proses yang paling dan, sebagai akibatnya, mungkin yang paling penting. Fotolitografi adalah teknologi yang paling umum digunakan tetapi untuk mengikuti kebutuhan resolusi yang menuntut industri semikonduktor, seperti disinggung oleh Hukum Moore, teknologi seperti litografi X-ray, litografi sinar elektron, dan litografi sinar ion telah dikembangkan [13]. Langkah-langkah dasar untuk fotolitografi melibatkan resist positif dan negatif yang ditunjukkan dalam Gambar 1.1.

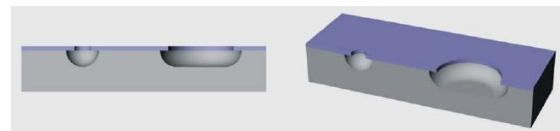


Gambar 1.1: Proses Litografi untuk Resis Positif dan Negatif

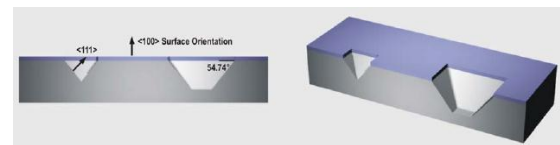
1.2.2 Bulk Micromachining

Micromachining Bulk memungkinkan produksi struktur diukir dari substrat. Biasanya, substrat adalah silikon, yang dapat mesin menggunakan berbagai media fisik dan 7 etsa kimia teknik. Beberapa teknik ini memungkinkan etsa melalui substrat, untuk sepenuhnya memanfaatkan seluruh ketebalan substrat. Selain itu, sifat kristal silikon dapat terutama menguntungkan bila menggunakan cetak etsa basah tertentu. Baik isotropik dan anisotropik, atau orientasi-tergantung, cetak etsa basah tersedia (Gambar 1-2 & Gambar 1-3). Tradisional resep etsa basah termasuk kalium HNA (a hydrofluoric, nitrat, dan campuran asam asetat), hidroksida (KOH), etilendiamina-pyrocatechol-air (EDP), dan tetramethylammoniumhydroxide (TMAH) dan

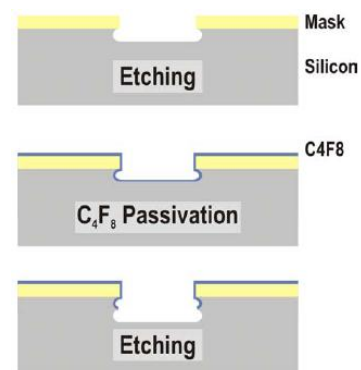
masih merupakan sarana populer mengukir saluran atau selaput menciptakan dalam silikon. Etsa kering teknik seperti plasma dan gas fase etsa (XeF_2 dan BrF_3) juga banyak digunakan. Teknik baru, seperti dalam ion reaktif etsa (Drie) [14], memungkinkan struktur dengan geometri di-bidang kompleks dan tinggi aspek rasio ($> 20:1$) untuk dibuat (Gambar 1-4). Meskipun demikian, micromachining massal tidak cocok untuk menciptakan semua geometri yang diinginkan. Device yang membutuhkan kompleks, multi-layer atau multi-mendalam struktur sering sulit atau tidak mungkin dengan micromachining massal saja.



Gambar 1.2 Etsa Isotropik Silikon (Si)



Gambar 1.3 Etsa Basah Anisotropik Silikon (Si)

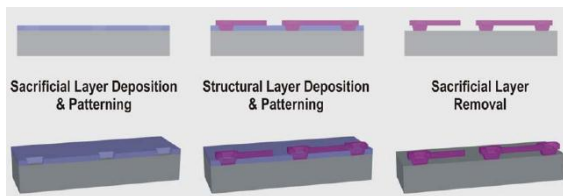


Gambar 1.4 Etsa Kering Anisotropik Silikon (Si) menggunakan proses Bosch

1.2.3 Surface Micromachining

Untuk membuat struktur planar yang kompleks, perlu untuk menggunakan micromachining permukaan. Di sini, bolak lapisan bahan struktural dan pengorbanan yang disimpan dan elektif dihapus

untuk mencapai hasil yang diinginkan (Gambar 1-5). Berbeda dengan micromachining massal, substrat mungkin atau mungkin tidak secara struktural yang signifikan dalam perangkat akhir dan sering digunakan hanya sebagai penunjang mekanik untuk membangun lapisan struktural. Hampir semua materi yang dapat disimpan dapat digunakan sebagai lapisan struktural. Berbagai macam lapisan kurban tersedia termasuk kaca phosphosilicate (PSG), polysilicon, polimer (photoresist dan Polimida), dan logam. Hal ini dimungkinkan untuk membangun berdiri bebas, dirilis, dan saling struktur geometri planar apapun yang diinginkan dengan micromachining permukaan. contoh micromachining permukaan termasuk micromotors elektrostatik [11, 12], out-of-plane struktur berengsel, dan mata air.



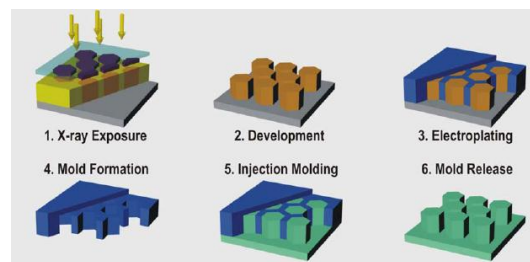
Gambar 1.5 Proses Dasar Surface Micromachining

Namun, hanya lapisan tipis ($\leq m$) dari kedua bahan struktural dan korban dapat disimpan karena stres dan masalah mekanis lainnya. Dengan demikian, keseluruhan ketebalan perangkat yang diciptakan oleh micromachining permukaan relatif tipis. Selain itu, kadang-kadang perangkat tersebut diganggu oleh stiction.

1.2.4 LIGA

LIGA awalnya dikembangkan pada tahun 1982 untuk pembuatan nosel pemisahan berukuran mikron untuk aplikasi produksi listrik tenaga nuklir di Jerman [14]. Nama ini sebenarnya berasal dari akronim bahasa Jerman untuk "abformung lithographie X-ray galvanofornung," yang berarti litografi x-ray, elektro deposisi, dan cetakan.

Gambar 1-6 menunjukkan proses Liga khas. Tebal x-ray menolak terkena dan digunakan sebagai cetakan untuk elektroplating. Ini cetakan logam yang baru terbentuk kemudian dapat digunakan untuk bagian cetakan injeksi plastik atau cetakan plastik lebih. struktur tinggi rasio aspek mulai dari mikron untuk cm tinggi dengan resolusi tinggi ($< m$) dapat dibentuk $\square 0,2$ dengan cara ini. Berbagai macam perangkat seperti akselerometer, sambungan optik, dan perangkat mikrofluida telah dibuat menggunakan Liga. Sementara kemampuan menghasilkan struktur tiga-dimensi menggunakan LIGA menarik, Liga adalah proses mahal karena sumber sinkrotron diperlukan untuk paparan x-ray dan topeng x-ray. Dengan demikian, berarti lebih sedikit mahal dari memproduksi hasil yang sama sedang diselidiki.

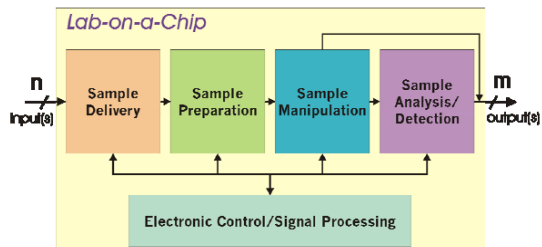


Gambar 1-6 Proses LIGA

1.3 MEMS UNTUK APLIKASI MIKROFLUIDA

Sebagian besar perhatian pada MEMS di masa sekarang telah dikhususkan untuk pengembangan mikrofluida. Biosensor dan alat lainnya untuk kimia dan biologi adalah salah satu aplikasi menarik banyak mikrofluida. Upaya ini sering disebut sebagai \square lab-on-a-chip atau sistem analisis mikro total (TAS). Kebutuhan teknologi untuk menghasilkan perangkat yang mampu throughput yang tinggi, konsumsi volume rendah, dan menghasilkan hasil yang akurat sudah ada di urutan genom dan analisis obat. Meskipun alasan yang memaksa, miniaturisasi sistem juga dapat memberikan dorongan bagi kemajuan terus mikrofluida. Banyak teknik laboratorium umum

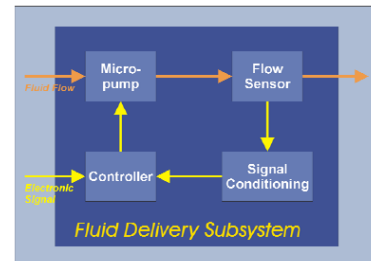
untuk kimia dan biologi memerlukan pengulangan memakan waktu banyak tugas. Dengan teknologi mikrofluida, mungkin tidak hanya untuk miniaturisasi satu proses tertentu, tetapi juga untuk menggabungkan banyak fungsi ke dalam satu sistem level chip.



Gambar 1-7 Sistem Lab-on-a-Chip

Dengan mulus mengintegrasikan tugas-tugas seperti persiapan sampel, reaksi sampel, dan deteksi produk, adalah mungkin untuk mempercepat proses secara dramatis. Selain mengotomatisasi proses, mikrofluida menawarkan kemungkinan konduksi proses massal paralel. sistem Lab-on-a-chip dapat terdiri dari sejumlah komponen dalam berbagai subsistem (Gambar 1-7). Secara umum, masukan diubah menjadi keluaran yang diinginkan melalui jaringan saluran fluidic dan mungkin menghadapi kombinasi dari tahap persiapan sampel, ruang reaksi, atau detektor selama proses ini. Meskipun setiap aplikasi tertentu mungkin memerlukan pengaturan berbeda dari subsistem, satu elemen umum dalam semua sistem ini adalah mekanisme pengiriman cairan dan transportasi. Kemampuan untuk mengendalikan, memantau, dan aliran langsung dengan cara yang tepat dan berarti sangat penting dalam pengembangan sistem mikrofluida praktis untuk proses biologi dan kimia. Banyak telah menunjukkan masing-masing perangkat yang diperlukan dalam sistem pengiriman cairan tetapi sistem lengkap masih kurang. Dalam upaya mewujudkan sistem lab-on-a-chip, sistem fluida mikro dosis telah dikembangkan. Komponen penting adalah aktuator cairan, perangkat kontrol

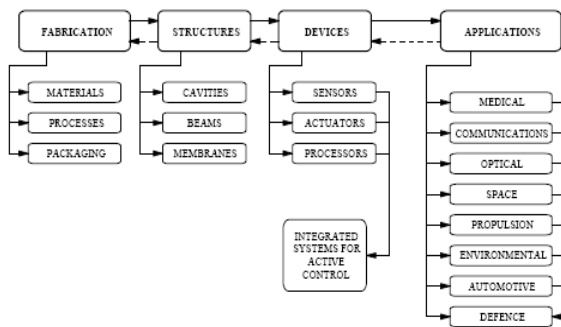
fluidic, dan pipa mikro. komponen MEMS yang dipilih untuk pengembangan sistem ini adalah pompa diafragma mikro, skrup mikrofluida, dan berbagai aliran mikro thermal sensing. Setiap bagian dari sistem telah dirancang, dibuat, dan diuji sebelum implementasi dalam sistem dosis cairan.



Gambar 1-8: Komponen dalam Sistem Pengiriman Fluida

2. Klasifikasi MEMS

Teknologi MEMS dapat secara luas digambarkan sebagai jatuh ke dalam salah satu dari empat bidang teknologi umum: fabrikasi struktur, perangkat dan aplikasi (Gambar 1). Fabrikasi adalah praktek mengambil bahan dan pengolahan mereka untuk membentuk structures1 elemental. Struktur seperti gigi berlubang, balok dan membran dapat digabungkan ke dalam perangkat: sensor untuk mendeteksi sifat tertentu (misalnya tekanan) dan aktuator untuk melakukan tugas tertentu (seperti bergerak cermin). Perangkat mungkin memiliki banyak aplikasi sipil di berbagai bidang, seperti kedokteran, komunikasi dan optik. Namun kemajuan di daerah ini juga cenderung memiliki implikasi untuk pertahanan. Fabrikasi bahan ke dalam struktur dan perangkat berujung pada aplikasi. Atau, sebuah aplikasi tertentu mungkin memerlukan pengembangan perangkat baru, yang membutuhkan pada gilirannya aspek novel beberapa manufaktur.



Gambar 2.1: Klasifikasi Teknologi MEMS

Menghubungkan bersama sensor dan aktuator elektronik dengan proses yang tepat dapat menghasilkan sistem terpadu untuk pengendalian aktif. Sebagai contoh, sensor yang mendeteksi kondisi tertentu (seperti suhu) dalam sebuah sistem dapat dihubungkan ke aktuator (seperti kipas) yang diaktifkan sesuai dengan elektronik untuk mempertahankan sistem di negara diperlukan. Dengan cara ini, karena ukuran kecil perangkat MEMS, kontrol lokal yang sangat akurat dapat dicapai dengan waktu respon sangat cepat. Kemasan perangkat MEMS juga umumnya termasuk dalam ilmu fabrikasi karena sangat penting untuk membentuk perangkat yang kuat dari komponen yang sangat kecil dan rapuh terlibat.

3. Teknologi Manufaktur

3.1 Bahan

Silikon adalah bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan MEMS karena, karena industri sirkuit terpadu, hal ini mudah dan ekonomis yang tersedia di wafer kristal dengan sifat mekanik dan listrik yang baik dan didefinisikan dengan baik [3]. silikon Polycrystalline ("polysilicon") juga berguna sebagai bahan struktural dalam proses micromachining permukaan [3, 8, 9]. Sebuah metode baru mengkristal polysilicon, logam-induced kristalisasi lateral (MILC) dituntut untuk memberikan materi dengan sangat meningkatkan kinerja [10]. Silikon oksida dapat digunakan

sebagai bahan lapisan korban dalam proses micromachining permukaan karena rentan terhadap etsa dengan fluorida hidrogen sedangkan silikon tahan terhadap etsa [3]. Demikian pula, nitrida silikon merupakan bahan masking berguna untuk solusi etch alkali dan juga sebagai film tipis isolasi [3]. Silicon nitrida juga dapat digunakan untuk membuat membran MEMS [11], piring dan cantilevers, bagaimanapun, struktur beresonansi tipis yang beroperasi di udara mungkin menunjukkan frekuensi resonansi tidak stabil karena permukaan oksidasi [12]. Silikon karbida menawarkan keuntungan dalam kekerasan dan ketahanan terhadap lingkungan yang keras dan suhu tinggi [13, 14, 15]. Polimer berguna dalam merasakan gas kimia karena penyerapan mereka dan sifat adsorpsi dan polimetilmetakrilat (PMMA) merupakan polimer yang berguna dalam proses Liga (lihat di bawah) untuk membentuk struktur aspek rasio tinggi. Mikrodivais Plastik berguna untuk aplikasi mikofluida untuk biosensor dan tes biologi dan, sebagai satu batch tidak ada proses teknik yang didirikan untuk plastik. Penelitian di bahan baru untuk MEMS juga aktif. Sebagai contoh: paduan amorf menunjukkan janji sebagai bahan masa depan untuk MEMS, bisa menjadi diekstrusi dan ditempa menggunakan micro-mati polikaprolakton merupakan polimer biodegradable, yang membuatnya menguntungkan mikrodivais biomedis implan; Tantalum oksida dapat bertindak sebagai lapisan pelindung untuk sensor; dan silikon germanium-polikristalin dapat disimpan dan anil untuk mengaktifkan dopan (doping ditambahkan untuk mempengaruhi sifat semikonduktor silikon) pada temperatur yang lebih rendah dari polysilicon dan karenanya merupakan bahan yang baik. Dua mikrodivais, sebuah microgripper dan probe untuk mikroskopi kekuatan atom (AFM), telah dibuat dari berlian menggunakan deposisi uap kimia .

3.2. Proses MEMS

Konvensional, dua kelas utama micromachining adalah micromachining massal dan micromachining permukaan. Bulk micromachining terlibat masking untuk melindungi area substrat (silikon massal) diikuti oleh etsa basah untuk menghilangkan materi dari substrat untuk meninggalkan struktur. Permukaan micromachining melibatkan penghapusan film tipis pengorbanan dari litografi permukaan dengan menggunakan. Namun, teknik lain yang sekarang tersedia untuk mengetsa (seperti ion reaktif etsa), litografi (seperti Liga, yang memungkinkan produksi struktur aspek rasio yang tinggi dari energi-tinggi proses litograf) dan pengendapan bahan ke substrat. Proses etsa umum meliputi: **Etsa Isotropik Basah**. Suatu asam kuat seperti campuran asam fluorida, nitrat dan asetat (dikenal sebagai "HNA" atau "poli-etch") akan melarutkan silikon seragam [3, 8], yang memungkinkan pengenalan tekstur pada permukaan silikon. **Etching anisotropik basah**. Beberapa basah mempesona seperti kalium hidroksida (KOH) larut bidang kristalografi yang berbeda dalam silikon pada tingkat yang berbeda, rasio tingkat etsa untuk {100}, {110} dan {111} pesawat yang biasanya 400: 200: 1. Jadi alur berbentuk V dan parit dapat diproduksi, digambarkan oleh {111} pesawat [3], yang memungkinkan pembuatan struktur seperti diafragma dan balok. Silicon nitrida [8] atau logam film tipis dapat digunakan sebagai masker untuk melindungi permukaan dari etsa. Namun, KOH tidak "Cleanroom kompatibel" dan tetrametil hidroksida amonium (TMAH), yang memiliki sifat yang berbeda etsa, mungkin lebih cocok, tergantung pada aplikasi.

Plasma-fase (Dry) Etching. Plasma-fase mengetsa melibatkan mempercepat spesies kimia reaktif menuju substrat menggunakan medan listrik atau magnet [3, 8]. Deep Reactive Ion Etching (Drie)

memungkinkan pembuatan struktur aspek rasio tinggi di silikon oleh etsa parit yang sangat dalam (sampai 500 μ m) dengan dinding samping hampir vertikal [3]. Metode ini melibatkan kepadatan-tinggi (induktif ditambah) sumber plasma dan proses etsa dan deposisi polimer pelindung [8]. Litografi konvensional melibatkan penerapan lapisan emulsi fotosensitif (fotoreซิส) untuk substrat, optik mengekspos dan membenamkan keseluruhan dalam pengembang [3]. Yang terkena menolak dibubarkan, meninggalkan fitur dari terpajan menolak menonjol di atas permukaan substrat. Aspek rasio sampai sekitar 03:01 dapat dicapai. Dalam polysilicon micromachining permukaan [9], lapisan tipis oksida silikon, polysilicon dilakukan. Setiap lapisan dgn cara melukiskan pada sepotong logam tergores sebelum lapisan berikutnya diendapkan. Akhirnya oksida silikon dietsa keluar untuk meninggalkan struktur polisilikon. Dengan cara ini, roda gigi, micromotors dan pelat engsel dapat dibuat dan perangkat seperti akselerometer dan sensor dapat dibuat.

Liga (Lithographie abformung galvanoformung

- singkatan Jerman untuk litografi, elektroplating dan pencetakan) adalah proses untuk menghasilkan rasio aspek mikro tinggi (merugikan) [3]. Tidak seperti litografi optik konvensional, sinar-X digunakan untuk menghasilkan cetakan terbuat dari polimer menolak (misalnya, polimetilmetakrilat (PMMA) dan basis tipis logam. Elektroplating digunakan untuk mengisi cetakan dengan logam dan sisa melawan dihapus, meninggalkan merugikan. X-ray lithography memungkinkan produksi merugikan dengan rasio aspek lebih dari 100, bagaimanapun, penggunaan collimated sinar-X dari synchrotrons membuat proses mahal [3] (sumber radiasi sinkrotron dan aplikasi yang ditinjau dalam jenis proses Liga telah digunakan untuk menghasilkan struktur seperti pada Ni-Co

seperti yang dipelajari (titanat timbal zirkonat). Sebuah etsa anisotropik menghilangkan lapisan hanya pada bagian bawah parit, kemudian memungkinkan silikon etch plasma untuk memperpanjang kedalaman parit dan etch isotropik dengan heksafluorida sulfur digunakan untuk lateral etch dinding samping terkena, meremehkan struktur yang berdekatan dan memungkinkan pembuatan struktur ditanggihkan. Beberapa aplikasi teknologi ini telah digunakan adalah high-density memori, tahap micropositioning xy, sebuah microaccelerometer rendah dan array Micromirror.

Beberapa proses pengendapan (deposisi) meliputi [3]:

Epitaksi. Epitaksi digunakan untuk deposit lapisan silikon pada substrat silikon yang sudah ada dengan deposisi uap kimia fase. Hal ini memungkinkan lapisan dengan tipe yang berbeda dan jumlah dopan. **Sputter deposisi.** Obyek terbuat dari bahan yang akan disimpan dibombardir dengan ion inert (misalnya: gas argon/Ar), dalam ruang hampa, menyebabkan material yang akan dikeluarkan dari obyek. Bahan ini dikeluarkan disimpan ke substrat.

Penguapan. Bahan yang akan dilakukan adalah dipanaskan dengan uap, yang kemudian mengembun pada substrat.

Deposisi Uap Kimia (CVD). Reaksi adalah dimulai di ruang atas substrat dipanaskan, menyebabkan pengendapan produk reaksi. Tergantung pada tekanan dan sifat dari spesies ini, jenis CVD termasuk tekanan atmosfer (CVD), tekanan rendah (LPCVD) dan plasma ditingkatkan (PECVD). Polysilicon, silikon dioksida dan silikon nitrida dapat disimpan melalui metode ini. Sebuah metode baru memproduksi struktur MEMS adalah Fabrikasi Inkjet. Dalam metode ini, lapisan kurban PMMA diletakkan pada substrat, sebuah kepala printer inkjet digunakan untuk deposit nanopartikel

perak ke PMMA dan kemudian PMMA dilarutkan oleh sonikasi dalam aseton. Alternatif untuk PMMA adalah photoresist dan Polimida, yang juga dapat disimpan dengan menggunakan deposisi inkjet. Metode serupa sedang diselidiki di Universitas Uppsala untuk membangun mikro dari PZT. Metode lain memproduksi struktur MEMS resolusi tinggi bubuk atau peledakan Abrasive Jet Machining. Hal ini dapat digunakan untuk membuat fitur kasar untuk MEMS (<50 pM fitur ukuran minimum, dibandingkan dengan ukuran sub-mikron untuk mengetsa RIE).

3.3 Pemodelan dan simulasi

Pemodelan dan simulasi studi tentang isu-isu manufaktur MEMS meliputi:

- 3D simulasi pergeseran frekuensi alam akibat kekuatan eksternal ; sintesis
- optimal microaccelerometers;
- simulasi kimia basah-etsa anisotropik;
- pemodelan dan simulasi efek film
- tegangan permukaan pada topologi permukaan dalam lapisan spin.

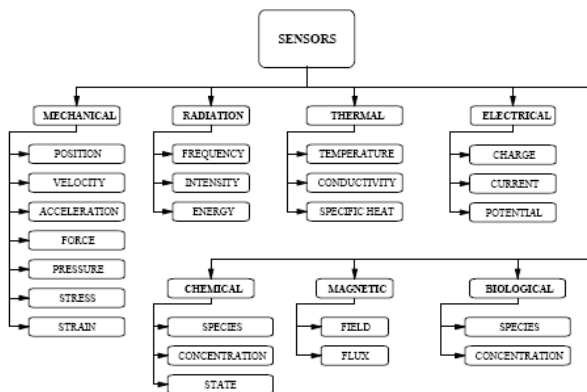
4. Devais MEMS

Metode pengolahan yang dijelaskan dalam Bagian 4.2, dan struktur sehingga terbentuk (Dijelaskan dalam Bagian 4.3) dapat digunakan untuk memproduksi perangkat MEMS, yang biasanya diklasifikasikan sebagai sensor atau aktuator. Sensor mendeteksi sesuatu atau mengukur properti beberapa saat aktuator melakukan beberapa aksi. Akibatnya, mereka berdua transduser, mengubah salah satu bentuk energi ke lain. Sensor umumnya mengkonversi beberapa bentuk lain dari energi menjadi listrik, sehingga pengukuran dapat direkam, dikirim, Aktuator dll dapat mengkonversi energi listrik menjadi gerakan Namun, ada metode lain aktuasi seperti panas, dampak, piezoelektrik dan bentuk [memori paduan 3]. Seperti dijelaskan

dalam Bagian 2 di atas, ukuran kecil alat MEMS juga mengarah pada kemungkinan "kontrol aktif", di mana penyimpangan dari kondisi standar yang dirasakan oleh sensor MEMS dan dikoreksi pada titik yang sama oleh aktuator MEMS, tanpa recourse ke pusat prosesor

4.1 Sensor

Sensor Makroskopik seperti giroskop telah digunakan untuk waktu yang lama. Sensor dapat diklasifikasikan menurut jenis properti yang mereka mengukur seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Sifat mekanis MEMS berarti bahwa mereka sangat cocok untuk pengukuran sifat mekanik, bagaimanapun, seperti ditunjukkan di bawah ini, mereka juga dapat digunakan untuk mengukur properti lainnya.



Gambar 4.1 Beberapa jenis sensor dan measurands

4.1.1 Tekanan

Beberapa perangkat MEMS awal dibangun adalah sensor tekanan piezoresistif. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan diafragma silikon yang berisi empat resistor film tipis di dekat tepi dalam konfigurasi jembatan Wheatstone. Satu sisi diafragma berada dalam rongga tertutup pada tekanan referensi. Perubahan tekanan pada sisi lain dari diafragma menyebabkan ia flex, yang meningkatkan perlawanan di dua resistor dan menurun dalam dua lainnya. Dengan sebelumnya kalibrasi perangkat, perubahan resistensi dapat

dikonversi ke tekanan pengukuran. Dalam mengukur tekanan diferensial, dua perangkat tersebut bersama-sama dapat digunakan untuk mengimbangi kesalahan akibat perubahan tekanan statis dan ambien temperatur. sensor tekanan Berbagai lainnya sedang diselidiki meliputi:

- sensor tekanan diferensial dengan celah disegel untuk mencegah kontaminasi

hg• tekanan biaya rendah batch-disegel kapasitif sensor ;

- tekanan kekuatan-seimbang rendah tegangan sensor ;

- sensor tekanan nirkabel keramik untuk aplikasi suhu tinggi;

- kapasitif mikrofon untuk aplikasi seperti alat bantu dengar;

- sensor diintegrasikan ke dalam ban mobil untuk membaca dan mengirimkan tekanan inflasi ;

- sensor sentuhan 3D terpadu untuk aplikasi ruang robot ; dan

- sensor sentuhan piezoelektrik untuk orang loba endoskopik.

4.1.2 Shear tegangan dan regangan

Sensor MEMS memiliki potensi besar untuk pengukuran informasi aerodinamika pada permukaan kendaraan udara, namun sensor melampirkan sulit karena permukaan kendaraan udara tidak datar. Salah satu metode adalah untuk menginstal array sensor MEMS kulit fleksibel sehingga dapat diterapkan ke permukaan "seperti selotip". Teknologi kulit baru menggunakan Drie untuk meningkatkan hasil dan memungkinkan kulit menjadi array terikat pada PCB Kapton fleksibel, benar-benar menghindari kabel ikatan. Sensor tegangan geser sendiri vakum-terisolasi termal sensor diafragma-jenis yang mampu mengukur tegangan dinding geser yang diberikan oleh aliran viskos. Sistem sensor baru telah berhasil diuji di terowongan angin dan percobaan UAV. Sistem ini

pada akhirnya akan digunakan untuk kontrol manuver real-time dari UAV. Dua sensor aliran udara model rambut reseptor angin serangga telah dibuat di Universitas Tokyo. Kedua sensor memiliki cantilevers, yang memiliki pengukur regangan di bagian bawah untuk mendeteksi defleksi kantilever tersebut. Tegangan output ditemukan menjadi sebanding dengan kecepatan aliran udara, dalam perjanjian yang baik dengan teori. Sebuah chip multi-sensor untuk digunakan sebagai flowmeter massa telah dikembangkan di Institut Teknologi California berisi array 1D tekanan, temperatur dan sensor tegangan geser. Sensor tegangan geser sebuah resistor dipanaskan duduk di rongga vakum. Hilangnya panas resistor adalah fungsi dari gradien kecepatan, yaitu, dinding geser tegangan dari cairan ambien. MEMS low profile, daya rendah, transduser regangan uni-dan multi-aksial. Perangkat ini juga dapat menyediakan modulus Young bahan mikrostruktur dengan memetakan kapasitansi terhadap tegangan. Wireless tertanam strain sensor MEMS telah digunakan untuk mengukur dalam strain-pesawat di laminasi komposit polimer diperkuat serat. Tiga desain yang berbeda piezoresistif strain sensor telah dibuat pada wafer silikon: sebuah monofilamen, balok kantilever dan balok (melingkar) melengkung kantilever. Sensor dievaluasi untuk sensitivitas, keterulangan dan keandalan beban siklik. Sensor monofilamen adalah yang paling sensitif, tetapi juga menunjukkan variabilitas terbesar. Hanya melengkung-beam off-permukaan sensor menanggapi secara konsisten terhadap beban (baik diterapkan dalam kondisi uniaksial atau tekukan) dan tidak sensitif terhadap ketebalan laminasi komposit. Sensor balok kantilever menunjukkan sama tanggapan terhadap sensor balok melengkung, tetapi tidak mendapatkan respon mereka terhadap beban kompresi menunjukkan kecenderungan yang lebih besar untuk buckling.

4.1.3 Aplikasi lain MEMS yaitu untuk sensor kimia dikembangkan meliputi:

- laser-induced fluorescence untuk analisis senyawa aromatik dalam air,
- sensor ion selektif untuk pemantauan air tanah ;
- resonator kristal polimer-dilapisi kuarsa untuk mendeteksi kimia organik ;
- sensor modus akustik piring untuk analisis logam solusi ion ;
- sensor fungsi kerja (mengukur perubahan dalam potensial permukaan pada adsorpsi) untuk deteksi gas pada suhu ruang ;
- permukaan sensor gelombang akustik untuk mendeteksi organik volatile ;
- sensor voltametric untuk melacak analisis logam ;
- elektrokimia pengupasan / sensor piezoelektrik untuk deteksi logam berat ;
- detektor sulfida timbal untuk spektroskopi inframerah dekat ;
- spektrometer kolorimetri penentuan NH_3 dalam sel injeksi aliran ;
- sebuah microspectrometer inframerah dekat didasarkan pada teknologi Liga ;
- sensor-mikro untuk spektroskopi NMR volume sampel nano litre ; dan
- spektrometer massa pencitraan pada chip (MISOC).

4.1.4 Smart Sensor

Smart lidah "rasa" solusi, sedangkan hidung pintar "bau" uap. Keduanya melibatkan identifikasi dan kuantifikasi campuran rumit dengan menggunakan beberapa Mikrosensor. Teknologi ini ditelaah dalam tiga jenis polimer-dilapisi Mikrosensor CMOS berbasis kimia yang cocok untuk digunakan dalam micronoses . Sensor pertama adalah microcapacitor sensitif terhadap perubahan sifat dielektrik dari polimer yang disebabkan oleh penyerapan analit. Sensor kedua adalah kantilever resonan sensitif

terhadap perubahan massa. Sensor ketiga adalah microcalorimeter yang mengukur penyerapan panas atau desorpsi volatil organik di lapisan polimer. Sebuah "hidung" nano sedang dikembangkan di Swiss oleh Divisi Research IBM Zurich Research Laboratory, bersama dengan Universitas Basel. Hal ini didasarkan pada array microfabricated dari cantilevers silikon, masing-masing yang peka dengan lapisan logam untuk mendeteksi berbagai analit (misalnya, etena atau air). Analit menyerap di lapisan menghasilkan perubahan tegangan permukaan, sehingga lentur dari kantilever tersebut. Sebuah "lidah" elektronik, yaitu array sensor micromachined untuk karakterisasi cepat campuran multi-komponen dalam media air, sedang dikembangkan di University of Texas. Sensor menggunakan sebuah array individual amobil glikol mikrosfer polistiren-polietilen komposit. Penginderaan terjadi melalui perubahan kolorimetri atau fluorometric untuk molekul indikator yang secara kovalen terikat untuk amina situs terminasi pada mikrosfer polimer.

4.2 Aktuator

Menurut definisi, aktuator MEMS melakukan beberapa aksi. benda padat dapat dipindahkan dalam beberapa cara seperti misalnya, piston, drive sisir, penghalang penyisipan untuk sakelar optik), rotasi (misalnya, roda, roda gigi, micromotors) dan miring (misalnya, cermin). Aktuator juga dapat diklasifikasikan dengan metode aktuasi [3]: elektrostatik: menciptakan muatan listrik berlawanan pada dua benda akan menyebabkan gaya tarik menarik antara mereka.

- Magnetic: arus listrik melalui elemen konduktif dalam medan magnet permanen menimbulkan kekuatan elektromagnetik (gaya Lorentz).
- piezoelectric: menerapkan berpotensi menyebabkan bahan piezoelektrik untuk mengubah ukuran, mengeluarkan gaya .

- termal: perubahan bahan menyebabkan suhu untuk memperluas atau kontrak, mengeluarkan gaya (misalnya, electrothermal atau bengkok-beam aktuator).
- Bentuk-memori paduan: Beberapa bahan dapat berubah bentuk tetapi, setelah pemanasan di atas suhu kritis, akan kembali ke bentuk aslinya. Bentuk aktuasi menawarkan kepadatan energi terbesar. Sebagai contoh, teknologi ini telah digunakan untuk membuat kateter aktif, yang dapat terkendali dikemudikan dalam pembuluh darah dan untuk microelectrodes yang dapat pegangan saraf untuk merekam saraf serangga.
- Polimida teknologi bersama: Sebuah alternatif untuk membentuk paduan memori didasarkan pada sifat ekspansi termal dari Polimida. Dengan memasukkan Polimida menjadi beberapa V-alur di sendi dan mengubah temperatur obat memungkinkan untuk out-of-plane bending untuk membangun perangkat 3D. Selain itu, ekspansi termal yang relatif besar Polimida memungkinkan untuk digunakan dalam aplikasi yang dinamis untuk aktuator.

5. Penutup

Dalam teknologi Microelectromechanical sistem (MEMS) diaplikasikan dalam beberapa bidang diantaranya sebagai kontrol otomotif, sistem keamanan, komunikasi, kontrol satelit, peralatan medis dan pemantauan kesehatan, namun perangkat non-MEMS seringkali sudah ada untuk aplikasi ini. Jika pengembangan alternatif MEMS adalah bermanfaat, perangkat MEMS bisa mengisi kesenjangan kemampuan, yaitu, baik itu harus melakukan fungsi baru, menjalankan fungsi lebih baik dari pada saat ini dengan harga lebih murah, lebih ringan atau lebih kecil (miniaturisasi) dari pada saat perangkat yang tersedia. Untuk aplikasi komersial, juga harus ekonomis, yakni harus ada permintaan yang cukup untuk perangkat baru yang

akan menguntungkan. Dalam arti yang lebih luas, teknologi yang terkait dengan MEMS termasuk material dan proses yang dibutuhkan untuk membuat komponen MEMS, integrasi komponen untuk membuat perangkat MEMS (sensor, aktuator) dan aplikasi yang menggunakan devais (perangkat) MEMS. Selain itu, Microsystems, reaktor microchemical, sistem microthermal dan smart devais dan lain-lain juga dimasukkan dalam "Teknologi MEMS".

Daftar Pustaka

1. Brendley, K.W. and Steeb, R., Military applications of microelectromechanical systems, MR-175-OSD/AF/A, Rand, Santa Monica (1993).
2. Bustillo, J.M., Howe, R.T. and Muller, R.S. Surface micromachining for microelectromechanical systems, Proc. IEEE, 86(8), pp. 1552 – 1574 (1998).
3. DARPA Microsystems Technology Office Core Technology Areas (26/09/2000): <http://www.darpa.mil/MTO/RADPrograms.html>
4. DARPA MEMS project summaries (06/09/2000): <http://www.darpa.mil/MTO/MEMS/Summaries/Projects/index.html>
5. Kamisuki, S., Fujii, M., Takekoshi, T., Tezuka, C. and Atobe, M., A high resolution, electrostatically-driven commercial inkjet head, in B2 5, pp. 793 – 798.
6. Kazinczi, R., Mollinger, J.R. and Bossche, A., New failure mechanism in silicon nitride resonators, in B2, pp. 229 – 234.
7. Maluf, N., An introduction to Microelectromechanical Systems Engineering, Artech House, Boston (2000).
8. Kovacs, G.T.A., Maluf, N.I. and Petersen, K.E., Bulk micromachining of silicon, Proc. IEEE, 86(8), pp. 1536 – 1551 (1998).
9. Materials and processes for SiC MEMS, Case Western Reserve University, DARPA funded project summary (06/09/2000): http://www.darpa.mil/MTO/MEMS/Summaries/Projects/individual_17.html.
10. Mehregany, M., Zorman, C.A., Rajan, N. and Wu, C.H., Silicon carbide MEMS for harsh environments, Proc. IEEE, 86(8), pp. 1594 – 1610 (1998).
11. Pisano, A.P. in Maluf, N., An introduction to Microelectromechanical Systems Engineering, Artech House, Boston (2000).
12. US Department of Defense FY 2001 budget estimates – research, development, test and evaluation, defense wide: Volume 1 – Defense Advanced Research Projects Agency (26/09/2000): http://www.dtic.mil/comptroller/fy2001budget/budget_justification/pdfs/rdtandefy01pb_darpa.pdf
13. Wang, M., Meng, Z., Zohar, Y. and Wong, M., A new polycrystalline silicon technology for integrated sensor applications, in B2, pp. 114 – 119.
14. Winchester, K., Spaargaren, S.M.R. and Dell, J.M., Transferable silicon nitride cavities, in B14, pp. 142 – 151.
15. Yasseen, A.A., Wu, C.-H., Zorman, C.A. and Mehregany, M., Fabrication and testing of surface micromachined silicon carbide micromotors, in B3, pp. 644 - 649.