

Mikroniek

VAKBLAD OVER PRECISIETECHNOLOGIE

JAARGANG 41 - NUMMER 5

5 Boekrecensies

**6 *TU/e groot in het kleine*
Onderzoek op de vierkante nanometer**

**12 *Grootte is belangrijk*
De voors en tegens van miniaturisering**

22 Productinfo

Vakblad voor precisietechnologie en fijnmechanische techniek en orgaan van de NVPT. Mikroniek geeft actuele informatie over technische ontwikkelingen op het gebied van mechanica, optica en elektronica. Het blad wordt gelezen door functionarissen die verantwoordelijk zijn voor ontwikkeling en fabricage van geavanceerde fijnmechanische apparatuur voor professioneel gebruik, maar ook van consumentenproducten.

Uitgave:

Twin Design bv
Postbus 317
4100 AH Culemborg
Telefoon: 0345-519525
Fax: 0345-513480
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

Uitgever:

Andries Harshagen / Renate Mouton

Abonnementen:

Twin Design bv, Culemborg

Abonnementkosten:

Nederland: fl. 120,- per jaar ex BTW
Buitenland: fl. 150,- per jaar ex BTW

Hoofredactie

Dirk Scheper
E-mail: info@rbe.nl

Redactiesecretariaat/eindredactie

Mikroniek/ Renate Mouton
Twin Design bv
E-mail: redactie@twindesign.nl

Advertentie-acquisitie:

Waterfront media
Henk van der Brugge
Tel: 06-29574666 of 078-622 7770

Secretariaat NVPT

Parallelweg 30
Postbus 70577
5201 CZ Den Bosch
Tel: 073-6233562
Fax: 073-6441949
E-mail: office@NVPT.nl

Vormgeving en realisatie:

Twin Design bv, Culemborg

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar
© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.

ISSN 0026-3699

Coverfoto: Bram Saeys Fotografie

In dit nummer

4

Editorial

5

Boekrecensies Mikrosystemtechniek en Tribologie, levensduur en prestatie

6

TU/e groot in het kleine
Onderzoek op de vierkante nanometer

Het is verleidelijk nanotechnologie te zien als een verlengstuk van de precisietechnologie, als een soort super-precisietechnologie dus. Maar niets is minder waar.

Volgens prof.dr.ir. Wim de Jonge van de Technische Universiteit Eindhoven is nanotechnologie te beschouwen als een 'bottom up'-discipline, die probeert iets nuttigs voort te brengen vanuit de kleinste deeltjes.

Precisietechnologie is daarentegen een 'top down'-discipline, die vanuit de zichtbare werkelijkheid afdaalt naar steeds kleinere details. Zullen nanotechnologie en precisietechnologie naar elkaar toe groeien en elkaar uiteindelijk ontmoeten? Volgens Wim de Jonge wel...



12

Grootte is belangrijk
De voors en tegens van miniaturisering

22

Productinfo

23

Actueel

Bedankt!

Langs deze voor een vakblad ongebruikelijke weg wil ik een ieder die mij als hoofdredacteur van *Mikroniek* op welke wijze dan ook heeft gesteund, bedanken. Vanaf januari 2002 neem ik namelijk afscheid als hoofdredacteur van *Mikroniek*.

Enkele personen wil ik zeker langs deze weg kort noemen: Hisco Baas voor zijn bijdragen in de vorm van adviezen met betrekking tot de vereniging NVPT en haar structuur en zijn waardevolle bijdragen bij het tot stand komen van contacten binnen deze wereld van precisietechniek. Ook Flip Doorschot wil ik bedanken voor zijn adviezen en zijn bijdragen in de vorm van artikelen.

De mensen met wie ik op de beurs Precisie techniek had afgesproken in verband met *Mikroniek* en het bespreken van de hoofdredactionele weg voor 2002 en de artikelen en thema's die daarvoor waren gepland, wil ik ook bedanken. Ik heb de gemaakte afspraken op wel zeer korte termijn moeten afzeggen omdat het bespreken van deze zaken voor 2002 prematuur was, zo bleek kort voor de beurs.

Het decembernummer van *Mikroniek* komt nog onder mijn hoofdredactionele verantwoordelijkheid uit. De uitgever Twin Design bv gaat de hoofdredactionele werkzaamheden voor 2002 zelf oppakken. Iedereen die artikelen had beloofd voor *Mikroniek* in 2002 - voor zover ik ze niet zelf persoonlijk op de hoogte heb gesteld - verwijs ik, evenals voor de gemaakte afspraken betreffende betalingen en vergoedingen, naar de nieuwe hoofdredacteur bij Twin Design, Renate Mouton.

Ik ga ervan uit dat *Mikroniek* ook in 2002 blijft verschijnen en wens de bestaande redactie veel succes bij het maken van dit vakblad over precisietechniek.

Nogmaals, iedereen met wie ik het afgelopen jaar te maken heb gehad mijn dank voor het geschonken vertrouwen en de samenwerking die ik als zeer prettig heb mogen ervaren.

Dirk Scheper

Tribologie, levensduur en prestatie



Onder bovenstaande titel is een boekwerk verschenen van de hand van dr. ir. Anton van Beek, hoofddocent aan de TU Delft en voorzitter van de Bond voor Materialenkennis, sectie Tribologie. Hij werkt samen met de Mechatronica Groep van Jan van Eijk (Philips CFT).

Tribologie staat voor de werktuigbouwkunde met betrekking tot wrijving, smering en slijtage. Daar gaat dit boek dan ook over.

“De machine loopt, maar hoe lang kan de machine mee? Wanneer is de volgende pitstop nodig? Welk onderhoud is vereist? Hoe warm loopt de machine?” Deze vragen en vele aanverwante onderwerpen – in dit geval uit de formule 1, waarbij de prestaties die worden geleverd staan of vallen met de prestaties van de machine – komen in *Tribologie, levensduur en prestatie* aan bod. Hoe komt het dat het ene team vele malen in het seizoen de motor opblaast, terwijl de concurrent vrijwel altijd de eindstreep haalt? Alle bewegende onderdelen zijn zo licht mogelijk ontworpen, hoogwaardige materialen worden toegepast en nauwkeurige berekeningsmethoden zijn onmisbaar om bijvoorbeeld de spanningsverdeling in en tussen de onderdelen te optimaliseren. Het continu moeten voldoen aan de hoogste eisen en de beste prestaties moeten neerzetten vergt zeer veel van de ingenieurs en hun omgeving. Behalve een goede samenwerking is fundamentele kennis en creativiteit onontbeerlijk. In dit boek wordt ingegaan op de fundamentele aspecten van levensduur en prestaties van machines en mechanismen: de tribologie.

Onderwerpen die hierbij aan bod komen zijn wrijving, warmteontwikkeling, belastbaarheid, stick-slip, nauwkeurigheid, slijtage, betrouwbaarheid, onderhoud, smering en materiaalkeuze.

De auteur heeft om tot een fundamentele behandeling van de beschreven onderwerpen te komen vele berekeningen en afleidingen toegepast. De meeste berekeningen zijn uitgevoerd in het programma MathCad. De formules, files en dergelijke zijn via verwijzingen op het internet beschikbaar, evenals aanvullingen op specifieke onderwerpen en wetenswaardigheden op het gebied van de tribologie.

Een kleine selectie uit de onderwerpen:

statisch en dynamisch draaggetal rollend contact met tractie, tandwielen; beheersing van wrijving- en slijtagemechanismen, schadeanalyse; smeringsregimes en smeermiddelen; slijtvaste materialen en materiaalkeuze; hydrodynamische en hydrostatische smering, gaslagers.

Het boek is bestemd voor aankomende ingenieurs hbo/wo die werkzaam zijn in de ontwikkeling en het onderzoek van high tech machines en mechanismen.

In de volgende *Mikroniek* komen we, in een uitgebreid artikel over gaslagers op dit specifieke gebied, terug op dit boeiende onderwerp waarbij precisietechnologie een centrale rol speelt.

ISBN 90-370-0190-4

Prijs: €45,-

Auteur: A. van Beek

Mikrosystemtechnik



Hoge betrouwbaarheid, een prijsgunstige massaproductie en steeds kortere reactietijden zijn factoren die ervoor zorgen dat de microsysteemtechniek als gebied steeds meer aandacht krijgt. Een Amerikaans onderzoek concludeert dat in het jaar 2002 het marktaandeel toeneemt tot 38 miljard dollar. Deze prognose betekent dat het gebied van de microtechniek, waaronder precisietechniek, eens extra onder de aandacht moet worden gebracht in de vorm

van een boekuitgave met als titel *Mikrosystemtechnik*.

Prof. dr. Wolf-Joachim Fischer onderzoekt de microsysteemtechniek niet alleen, hij geeft ook les in dit vakgebied aan de technische universiteit Dresden. Hij heeft kans gezien om de resultaten van ontelbare onderzoeksprojecten en de praktisch opgedane ervaringen samen te vatten in een nieuwe inleiding in de microsysteemtechniek. Prof. dr. Jürgen Grimm van de Westsächsischen Hochschule in Zwickau vat zijn beoordeling over dit boek samen met de woorden: “Het is een boek-

werk dat omschreven kan worden als een absoluut gelukte vorm om studenten en andere geïnteresseerden het idee achter de microsysteemtechniek beter te leren begrijpen.”

In het boek komen zowel de actuele on-chip systemen alsmede de hybride oplossingen ter sprake. In zeven hoofdstukken komen de toepassingsgebieden, technieken, materialen, conversieprincipes, voedingsaspecten en energieopslag, modellering en simulatie en niet te vergeten de signaalverwerkingsprincipes aan bod.

Het doel van het boek is om studenten met als vakrichtingen halfgeleidertechniek en materiaalkunde, assemblagetechnieken, elektronica en automatiseringstechniek een duidelijk en compleet overzicht van dit vakgebied te geven. Ook ontwikkelaars komen aan hun trekken. Zij worden vooral gewezen op nieuwe kennis en wetenswaardigheden op het terrein van de microsysteemtechniek.

Prijs: € 42,50

Uitgeverij: Vogel Verlag

Voor Nederland: Bureau Belper – www.rbe.nl

ONDERZOEK

Onderzoek op de

TU/e groot in het kleine

vierkante nanometer

Het is verleidelijk nanotechnologie te zien als een verlengstuk van de precisietechnologie, als een soort super-precisietechnologie dus. Maar niets is minder waar. Nanotechnologie heeft zijn wortels in de natuurkunde, precisietechnologie is via de fijnmechanische techniek ontstaan vanuit de klassieke werktuigbouwkunde. Volgens prof.dr.ir. Wim de Jonge van de Technische Universiteit Eindhoven is nanotechnologie te beschouwen als een 'bottom up'-discipline, die probeert iets nuttigs voort te brengen vanuit de kleinste deeltjes. Precisietechnologie is daarentegen een 'top down'-discipline, die vanuit de zichtbare werkelijkheid afdaalt naar steeds kleinere details. Zullen nanotechnologie en precisietechnologie naar elkaar toe groeien en elkaar uiteindelijk ontmoeten? Volgens Wim de Jonge wel, al weet niemand wanneer, waar en hoe.

• *Gertjan Harberink, Frans Zuurveen* •

Al zijn nanotechnologie en precisietechnologie dan geheel verschillende vakgebieden, zeker is wel dat nanotechnologie onbestaanbaar is zonder precisietechnologie. Dat blijkt wel heel duidelijk uit de serie foto's bij dit artikel¹, dat tot stand is gekomen dankzij de welwillende medewerking van de redactie van *Matrix*, de fraai verzorgde kwartaaluitgave van het communicatiecentrum van de TU Eindhoven.²

Klein vereist groot

De foto's tonen een gigantisch apparaat met de naam EUFORAC in het gebouw van de faculteit Technische Natuurkunde. Het woord EUFORAC is zo ongeveer

gevormd uit de beginletters van 'Eindhoven University film deposition facility for research, analysis and characterization'. Die laboratoriumopstelling is niet alleen in staat atomaire lagen op nanometerniveau aan te brengen, maar kan die lagen ook – zoals de naam zegt – bijna gelijktijdig onderzoeken, analyseren en karakteriseren.

Op de foto's zijn prof. Wim de Jonge (met baard) en dr. Jürgen Kohlhepp - de operator van de opstelling – prominent aanwezig. Daardoor komen ook de afmetingen van het veelzijdige apparaat goed tot hun recht, waarbij – net als bij de wafersteppers van ASML - duidelijk wordt dat naarmate de details kleiner worden, de apparatuur groeit.

In de EUFORAC-opstelling heerst een ultrahoog vacuüm van 10^{-11} Torr (ongeveer 10^{-9} Pa). Oorspronkelijk bestond het apparaat alleen uit een MBE-opstelling, die aan het eind van de jaren tachtig werd ontworpen en gemaakt in het kader van een Europees project, waarin de TU/e samenwerkte met Philips Research, Thomson en Siemens. Daarmee kunnen zeer dunne lagen (MBE: Molecular Beam Epitaxy) epitaxiaal worden aangebracht. Epitaxiaal wil zeggen dat de lagen groeien volgens de kristaloriëntatie van het onderliggende monokristallijne substraat.

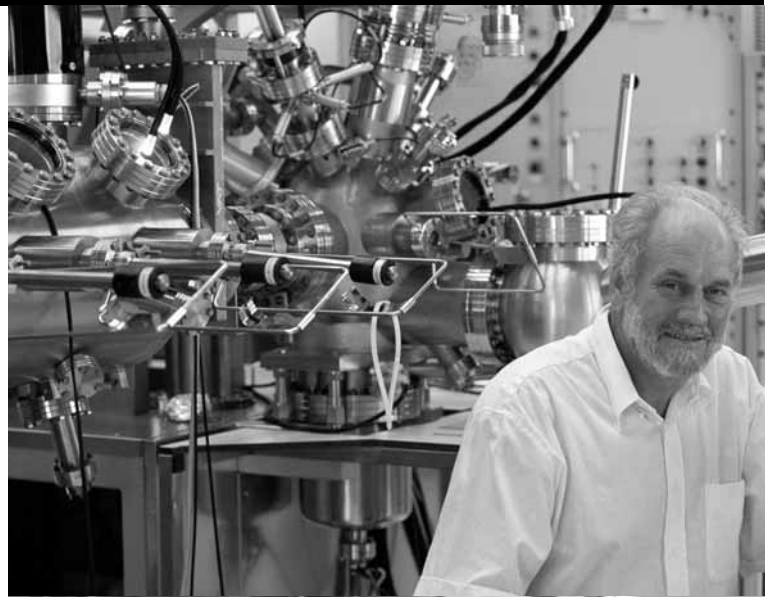
Later is aan de opstelling een magnetron-sputterapparaat gebouwd, waarmee eveneens dunne lagen kunnen worden gevormd. (MBE is een langzaam, laboratoriumachtig en dus duur proces, sputteren gaat daarentegen veel sneller en wordt daarom veelvuldig op industriële schaal toegepast.) Vervolgens zijn ook instrumenten aan de opstelling toegevoegd voor het onderzoeken, analyseren en karakteriseren van de opgebrachte lagen, zoals een STM: 'Scanning Tunneling Microscope'.

Sterke precisietechnologische staaltjes

Het zal duidelijk zijn dat EUFORAC niet alleen vanuit vacuümtechnisch maar ook vanuit precisietechnologisch oogpunt een sterk staaltje is. De preparaten moeten namelijk onder vacuümcondities uiterst nauwkeurig worden getransporteerd naar de diverse posities in de opstelling voor het aanbrengen en onderzoeken van de lagen. Daarvoor is door de Gemeenschappelijke Technische Dienst van de TU/e (onder leiding van de onlangs op kinematisch construeren gepromoveerde dr.ir. Peter Brinkgreve) een rail-transportstelsel ontworpen en gemaakt. Uiteraard zijn daarin materialen en smeermiddelen vermeden die het schone en ultrahoge vacuüm zouden kunnen contamineren.

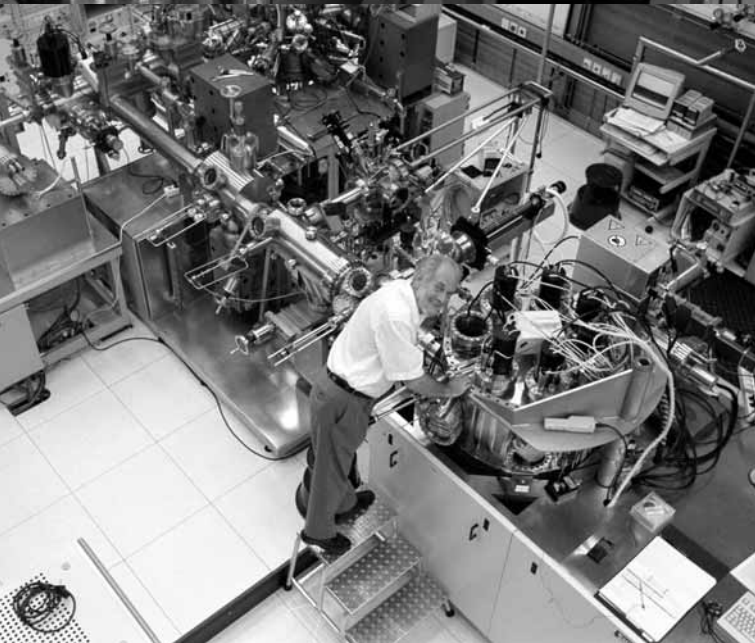
Het unieke van EUFORAC is dus dat lagen - zonder dat ze aan de atmosfeer moeten worden blootgesteld - vrijwel onmiddellijk na hun ontstaan kunnen worden onderzocht en geanalyseerd. Bijzonder is ook dat EUFORAC niet alleen anorganische lagen aanbrengt en analyseert, maar ook organische.

Al met al biedt EUFORAC faciliteiten om van allerlei soorten deeltjes - van de kleinste atomen tot de grootste macromoleculen - de bruikbare eigenschappen op te sporen. Door daarna individuele deeltjes te manipuleren - oppakken, draaien, verplaatsen en op de gewenste plaats neerleggen - zouden die eigenschappen uiteinde-



lijk kunnen resulteren in nieuwe technische toepassingen. Dat is voor een deel nog verre toekomstmuziek, maar voor een deel al in het zicht komende realiteit.

Een voorbeeld van zo'n nieuw technisch toepassingsgebied is de zogenaamde 'spintronics', een soort 'andere elektronica' waarin niet van de lading van elektronen gebruik wordt gemaakt, maar van hun spin, dat wil zeggen hun intrinsieke impulsmoment. Daarmee zijn wel-



licht nog kleinere en krachtigere schakelingen te realiseren dan met de 'klassieke' elektronica.

De TU/e aan het woord

Voor een overzicht van de TU/e-activiteiten op het gebied van nanotechnologie, en de visie en ideeën van prof. Wim de Jonge over zijn vakgebied Fysica van Nanostructuren, volgt hier de bijna integrale tekst van het reeds genoemde artikel in *Matrix*:

«De term nanotechnologie is een benaming voor wetenschap en technologie die zich bezighoudt met wat je de nanowereld zou kunnen noemen. Het is een wereld bevolkt door atomen en moleculen, de bouwstenen van het leven en de wereld om ons heen. Eén nanometer (nm) is onwaarschijnlijk klein. De meeteenheid staat voor één miljoenste millimeter.

TU/e-hoogleraar dr.ir. Wim de Jonge, decaan van de faculteit Technische Natuurkunde en groepsleider van de facultaire onderzoeksgroep Fysica van Nanostructuren, presenteerde begin dit jaar het rapport 'Nano-Science and Technology @ TU/e'. Het behelst een inventarisatie en een uitvoerige beschrijving van alle plekken op de TU/e waar nanotechnologie wordt bedreven. Vorig jaar nog ontving De Jonge samen met dr. Reinder Coehoorn de prestigieuze Gilles Holst Prijs voor hun onderzoek naar elektrische geleiding in gelaagde magnetische nanostructuren.

Puristen

De Jonge over zijn inventarisatiewerk: "Binnen de universiteit en de faculteiten zijn we doorlopend op zoek naar nieuwe, uitdagende onderzoeksterreinen. In dat kader vonden we het binnen het Bestuurlijk Overleg verstandig om eens op een rijtje te krijgen wat we in Eindhoven op het gebied van nanotechnologie deden. In eerste instantie leek het erop dat we te maken hadden met een activiteit die binnen de TU/e maar in geringe mate ontwikkeld was. Niets is echter minder waar."

Wat is nanotechnologie volgens De Jonge? "De puristen onder ons noemen het 'shaping the world atom by atom'. Zij spreken pas over nanotechnologie als je de individuele moleculen en atomen kunt adresseren en manipuleren. Je moet ze bij wijze van spreken kunnen beetpakken, omdraaien en tegen elkaar aandrukken."

Dat is voor de natuurkundedeccaan een iets te krappe definitie. "Nanotechnologie beoogt op moleculair en atomaire niveau materialen op te bouwen. Je engineerst bewust de structuren, de materialen, verschijnselen en systemen die je nodig hebt. Als je het als vakgebied wilt definiëren is het van belang om de samenhang te zien. De kennis, de multidisciplinariteit, de zeer verfijnde apparatuur en technologie, al dat soort dingen samen maken een vakgebied. Dat is dus veel meer dan alleen een molecuul omdraaien."

Assembleren

Tegenover de opvatting van de puristen die structuren atoom voor atoom op willen bouwen, staat het idee dat

structuren zichzelf ook heel goed kunnen rangschikken. Daarbij wordt goed gekeken naar de biologie, waar cellen zichzelf groeperen en ontwikkelen. Ze assembleren zichzelf tot iets nieuws. Aan de ontwikkeling van cellen naar leven zitten nanotechnologische aspecten.

De Jonge: “Als je ooit serieus aan de slag wilt met nanotechnologie, zul je gebruik moeten maken van het principe van zelfassemblage. Je kunt nou eenmaal niet elk atoom persoonlijk begeleiden.”

De Jonge kan gloedvol vertellen over nanotechnologie. Hoewel het vakgebied zich op de voor het menselijk oog onzichtbare dimensies richt, plukt hij atomen uit de lucht en schetst hij alleen met woorden een wondere atomaire wereld. Hij is het soort wetenschapper dat studenten en medewerkers kan enthousiasmeren voor een vak door zijn eigen geestdrift.

Voor De Jonge is de nanowereld een spannende ontdekkingsreis, waarvan het einde nog lang niet in zicht is. De ontwikkelingen op dit gebied gaan dan ook razendsnel. “We kunnen atomen en moleculen zichtbaar maken. Nu is dat heel normaal”, aldus De Jonge. “In 1980 hoorde ik daar voor het eerst over vertellen en zag ik de eerste beelden. De kwaliteit was dan wel niet zo hoog als we nu gewend zijn, maar ik weet nog goed dat ik compleet versteld stond. Nu zijn we gewend aan al die dingen. We zijn vertrouwd met de Scanning Tunneling Microscope, waarmee je atomen zichtbaar kunt maken. En het is bijna vanzelfsprekend dat je ze kunt oppakken en neerleggen. Toen ik met studeren begon, was dat ondenkbaar.”

Biosystemen

De Jonge haalt een concreet voorbeeld aan: carbon nanotubes. “Dit zijn minuscule koolstofbuisjes waar je van alles in kunt doen. Je kunt er medicijnen in stoppen en door ze te knikken worden het transistoren en diodes. Je kunt er ook moleculen aanhaken en er tandwielletjes van maken, waarmee je een motortje maakt. Je kunt je zelfs voorstellen dat die apparaatjes zichzelf reproduceren. Dan kun je ook bedenken dat je dat vervolgens kunt inspuiten in een bloedbaan, dat er een lasertje in zit en een antenne. Er zijn wetenschappers die daar heilig in geloven, maar het is er allemaal nog lang niet. Maar toch, die fantasieën zijn spannend en werken inspirerend.”

In de toekomst zullen biotechnologie en nanotechnologie nadrukkelijker met elkaar verweven raken. Biosystemen

zijn de grote uitdaging voor de nanotechnologen van morgen. De Jonge: “Het zijn totaal andere systemen, maar ze worden door iedereen die er een beetje over nadentkt wel gezien als de uitdaging voor de toekomst. De gereedschappen die we hebben ontwikkeld voor nanotechnologie worden natuurlijk ook toegepast in de bioscience.” Daarmee raakt het harde bètavak natuurkunde opeens heel erg aan het leven zelf.

De Jonge heeft gemerkt dat deze ontwikkelingen binnen nanotechnologie invloed hebben op het denken over het vak. “Natuurkundigen gaan voor grote gebaren. Studenten die hier komen studeren hebben gehoord over zwarte gaten, kwantummechanica, de Big Bang. Daarover willen ze meer weten. Het past binnen het kader van vragen als ‘waar komen we vandaan?’, ‘waar gaat het naartoe?’, ‘hoe hangt het samen?’. Nu, langzamerhand, komt daar de vraag ‘wat is leven?’ bij. Dat hoorde nooit bij de grote vragen die natuurkundigen zichzelf stelden. Daarom inspireert de ontwikkeling van dit vakgebied een heleboel wetenschappers.”

Multidisciplinair

Het resultaat van de nanotechnologie-inventarisatie leverde een opmerkelijk lange lijst op. In totaal zijn aan de TU/e zeker tweehonderd onderzoekers en wetenschappers te vinden die nanotechnologie beoefenen, of in ieder geval bezig zijn met activiteiten die daaraan raken. Uit de inventarisatie bleek duidelijk het multidisciplinaire karakter van het vakgebied.

De Jonge: “Het interessante is dat de nanotechnologie goed verspreid is over natuurkunde, scheikunde, werktuigbouwkunde, wiskunde en biotechnologie. Nanotechnologie is enorm multidisciplinair. De vakgebieden gaan door elkaar heen lopen. De grenzen tussen biomedische technologie, technische natuurkunde en scheikunde vervagen. We zullen elkaar moeten gebruiken en van elkaar moeten leren.”

Behalve het multidisciplinaire karakter bleek uit de inventarisatie ook heel duidelijk dat veel van deze activiteiten sterk gerelateerd zijn aan de toponderzoekscholen. De Jonge: “Niet dat nanotechnologie de doelstelling van het Dutch Polymer Institute, Katalyse of Cobra is, maar de thema's die binnen die instituten bewerkt worden, blijken voor een deel als natuurlijke ontwikkeling uit te komen op het gebied van nanotechnologie.”

Echt verbazingwekkend is deze uitkomst niet. Cobra is de Eindhovense toponderzoekschool die onderzoek doet naar optische communicatiemethoden. De Jonge: "Binnen de ICT moet het allemaal compacter en sneller. Dat betekent vooral dat het allemaal kleiner moet worden. Daarmee kom je al snel op het gebied van de nanotechnologie. Ook bij Katalyse en het DPI is het 'engineeren' van moleculen een belangrijk thema."

Uithangbord

De TU/e afficheerde tot dusver nooit duidelijk met haar activiteiten op het gebied van nanotechnologie. Alle nanotechnische initiatieven op de Eindhovense universiteit zijn ontstaan omdat er vraag naar was, of omdat bepaalde technieken of producten nodig waren vanuit de eigen discipline. Daarmee verschilt Eindhoven wezenlijk van Delft en Twente. De Jonge: "Zij hebben Dimes en Mesa, twee instituten die specifiek onderzoek doen naar microstructuren. Zij hebben dus wel dat uithangbord waaronder nanotechnische activiteiten gegroepeerd zijn. Wij doen het tot dusver meer geïntegreerd in andere thema's. Vanaf oktober gaan we het echter gestructureerder aanpakken, hetgeen zijn uitwerking vindt in de oprichting van het TU/e-expertisecentrum 'Nano devices and Materials design'."

Het gebrek aan een duidelijk nanotech-cluster kan vervelende financiële gevolgen met zich meebrengen. Vanuit het ministerie van Economische Zaken worden er de komende jaren namelijk forse bedragen beschikbaar gesteld voor nanotechnologie in het kader van het stimuleringsprogramma Ices/Kiss 3. De TU/e is in de race voor een deel van dat geld. En er zit – ook op Europees gebied – meer in de pijplijn. Nederland loopt iets achter op nanogebied en het is niet ondenkbaar dat er de komende jaren veel geld beschikbaar gesteld wordt om de grote inhaalslag aan te gaan.

Alleen al deze ontwikkelingen maken het de moeite waard om de krachten binnen de TU/e te bundelen. Er zijn echter nog andere, bijkomende redenen. De gezamenlijke aanschaf van al de peperdure apparatuur die nodig is voor nanotechnologisch onderzoek bijvoorbeeld. "Er is een wereld te winnen als we wat meer integreren", zegt De Jonge. "Daarnaast willen we ook een nadrukkelijke taak op het gebied van onderwijs op ons nemen."

Terug naar de toekomst van nanotechnologie. De toekomst van zichzelf reproducerende machines en nieuwe,



bijzondere materialen. De Jonge wil zich niet verliezen in wilde gedachten over wat er allemaal gemaakt zou kunnen worden. "Ik heb helemaal geen behoefte aan allerlei exotische verhalen. Als we ons beperken tot waar we al goed in zijn, dan zijn er bijvoorbeeld op de gebieden van de nano-elektronica, nieuwe designmaterialen, nanochemie, en bionanotechnologie nog problemen en uitdagingen genoeg!"»

Tot slot

Wie zich verder wil verdiepen in nanotechnologie, kan onder andere uit de voeten met *Scientific American*. Het septembernummer van dat tijdschrift (vol. 285, nr. 3) is namelijk geheel gewijd aan nanotechnologie.

Noten

- 1 Fotografie: Bram Saeys Fotografie
- 2 G. Harberink, Onderzoek op de vierkante nanometer, *Matrix*, kwartaalblad van de Technische Universiteit Eindhoven, jaargang 8, najaar 2001, blz. 26-29.

Grootte is belangrijk

De voors en tegens

De auteurs van dit artikel zijn afkomstig van Stanford University. Zij bekijken de implicaties van de miniaturisatie en in hoeverre de fabricagetechnieken van micro-elektronica bepalend zijn op productgebieden als turbomachines en brandstofcellen. Het mag dan paradoxaal klinken, maar miniaturisatie speelt een steeds belangrijkere rol in ons leven. Pc's, telefoons, PDA's en consumer elektronica nemen in grootte continu af. Het gaat bovendien steeds sneller: submicronfabricage heeft geleid tot werkfrequenties waarvan we een aantal jaren geleden alleen nog maar konden dromen. Echter, naast de belofte van enorme voordelen kent miniaturisatie ook haar prijs, zoals bijvoorbeeld een lagere nauwkeurigheid en een verhoogd risico voor wrijvingsverliezen.

• *Sankyun Kang, Sang-Joon J. Lee, Frits B. Prinz ABB Group* •

De afgelopen jaren lieten zien dat ideeën vanuit de miniatuurwereld enthousiast door andere disciplines werden overgenomen. Een goed voorbeeld hiervan ligt op het gebied van MEMS (Micro Elektronic Mechanical Systems). Deze systemen spreken de bestaande micro-fabricagetechnieken aan om te komen tot de creatie van miniatuursensoren (bijvoorbeeld versnellingsensoren) en microactuatoren (kleppen en mirror arrays). Een groot voordeel van MEMS is dat dergelijke eenheden op een relatief eenvoudige manier parallel kunnen worden aangebracht, waardoor de productbetrouwbaarheid toeneemt. Er is echter een keerzijde, op het moment dat de grootte afneemt ontstaat er verlies aan nauwkeurigheid en gaan de wrijvingsverliezen omhoog. Met deze nadelen in gedachte is het de moeite waard om de implicaties van MEMS-fabricage eens nader onder de loep te nemen. Er zijn twee gebieden waar MEMS en andere precisiefabricage-

technieken reeds hun stempel op hebben gedrukt en die bovendien de genoemde implicaties duidelijk aantoonbaar maken: micromotoren en micro-brandstofcellen.

Implicaties van schaalgrootte voor turbomachines

Een mechanisch systeem kan worden beschreven door zijn massa m , afstand d , grootte l en tijd t . Teneinde het gedrag van grote systemen te vergelijken met hun veel kleiner uitgevallen tegenhangers is het noodzakelijk om een aantal aannames te maken. Er wordt bijvoorbeeld aangenomen dat de potentiële energiedichtheid, $U(d,d)$, en de materiaaldichtheid, r , constant zijn. Bovendien wordt aangenomen dat iedere verandering in de toekomstige grootte l , die gerelateerd is aan de massa als $m=l^3$, eveneens vergezeld gaat van een verandering in de

van miniaturisering

van miniaturisering

afstandsparameter d . Nemen we deze aannames mee in onze afwegingen dan kunnen we kijken naar de effecten die ontstaan bij het verkleinen van een turbine.

De nettohoeveelheid aan energiedichtheid die onder een stabiele toestand naar de as van een turbomachine wordt overgebracht, zonder rekening te houden met zwaartekracht en entropische verliezen, kan geschreven worden in de vorm van een energie (kinetisch en potentieel) vergelijking:

$$I/\rho(v_2^2 - v_1^2) + p_2 - p_1 = E / V$$

$v_{1,2}$ staat voor de snelheid van de vloeistof aan de in- en uitgang van de turbine. De potentiële energiedichtheid $p_2 - p_1$ bevat geen enkele parameter die afhankelijk is van de grootte van de turbomachine. Dit leidt tot het belangrijke resultaat dat *de lengte en tijd (periode) proportioneel zijn*. Een voorbeeld: als een gasturbine kleiner wordt gemaakt (verkorte lengte) zal deze sneller gaan draaien (verkorte periode), waarbij wordt aangenomen dat de energiedichtheid van het gas hetzelfde blijft. Hoewel deze analyse zeer vereenvoudigd is (het negeert verliezen en rendement), geeft het een bruikbaar inzicht betreffende grootte en vermogensdichtheid, zoals hieronder wordt aangetoond.

Het dynamische gedrag van turbomachines kan door wiskundige relaties tussen de rotordiameter D en het toeren N worden beschreven. Dimensionale analyse [1] geeft het gegenereerde koppel van een turbine:

$$L = c_1 \rho D^5 N^2$$

Dus het gegenereerde vermogen wordt gedefinieerd als:

$$P = L N = c_1 \rho D^5 N^3.$$

Tot hier wordt de vermogensdichtheid in termen van volume gedefinieerd als:

$$P = P/V = c_2 (D^5 N^3 / D^3) = c_2 D^2 N^3$$

Dit laat zien dat de vermogensdichtheid van een turbomachine afhankelijk is van D en N . Houden we de opper-

vlaktesnelheid gelijk en gebruiken we de proportionele relatie tussen lengte en tijd, zoals eerder beargumenteerd, dan blijft $D \times N$ constant. Dienovereenkomstig wordt de vermogensdichtheid:

$$P = c_2 D^2 N^3 = c_2 (D \times N)^3 / D = c_2 (c_3)^3 / D = c_4 / D$$

Dit impliceert dat de vermogensdichtheid van een turbomachine toeneemt als zijn grootte afneemt. Een overeenkomstige argumentatie is mogelijk voor de stuwdruk opwekkende gasturbinemotoren. Afbeelding 1 [2] toont de relatie tussen dichtheid en lengteschaal voor de commerciële straalmotoren van Pratt and Whitney. De helling van de lijn (-0,94) is vergelijkbaar met de voorspelde waarde van -1.

Tevens kan worden aangetoond dat de maximale lineaire snelheid van de top van een rotorblad wordt bepaald door de sterkte van het rotormateriaal en dat het constant houden van de oppervlaktesnelheid voor turbomachines op verschillende schaalgrootte een goed idee is. De maximale waarde van $D \times N$ is dan constant voor twee rotors van verschillende grootte maar wel van dezelfde vorm en materiaal. De constante oppervlaktesnelheid van de rotor impliceert een zelfde stromingssnelheid in de turbomachine. De snelheid van de bladtop is wederom gelijk voor turbomachines met verschillende diameters.

Betrouwbaarheid en groots opgezette parallelle mechanische systemen

De verhoging van de vermogensdichtheid van kleine mechanische systemen leidt tot de mogelijkheid tot groots opgezette parallelle mechanische systemen (MPMS – Massively Parallel Mechanical Systems). Een dergelijke aanpak heeft belangrijke voordelen voor wat betreft grootte en betrouwbaarheid. Als voorbeeld kunnen we nemen dat één grote motor kan worden vervangen door een aantal kleinere motoren. Omdat de vermogensdichtheid van een kleine motor groter is dan die van een grote motor kan de eerstgenoemde hetzelfde vermogen leveren met een lager volume (afbeelding 2). Afbeelding 3 vergelijkt de waarschijnlijkheid van een storing van een grote motor met het in afbeelding 2 geïllustreerde redundante systeem.

Bezwaren van evenredige verkleining van mechanische systemen

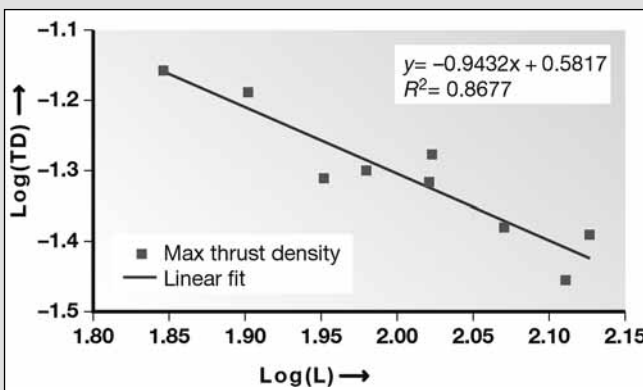
Traditionele fabricageprocessen, zoals boren, draaien en moulding, bereiken relatieve nauwkeurigheden die liggen in de orde van 10^{-4} tot 10^{-6} . Relatieve nauwkeurigheid wordt gedefinieerd als de fabricageprocestolerantie Δ/l gedeeld door de karakteristieke onderdeeldimensie l . Deze laatste zal beduidend afnemen als de afmetingen van het onderdeel krimpen.

Moderne microfabricagemethoden, zoals reactieve ionenetching (RIE – Reactive Ion Etching) realiseren een Δ/l van slechts 10^{-2} tot 10^{-4} en de manipulatie van individuele atomen of moleculen met AFM-probes kunnen op z'n best waarden voor Δ/l in de orde van grootte van $0,5 - 10^{-2}$ bereiken. De lagere relatieve nauwkeurigheid bij kleinere afmetingen vormt een grote zorg in mechanische systemen waarbij onderdelen relatief ten opzichte van elkaar worden bewogen. Een ruw oppervlak kan een verhoogde wrijving en warmteopwekking veroorzaken. Dit leidt weer tot de afname van het rendement en een kortere levensduur van kleinschalige systemen.

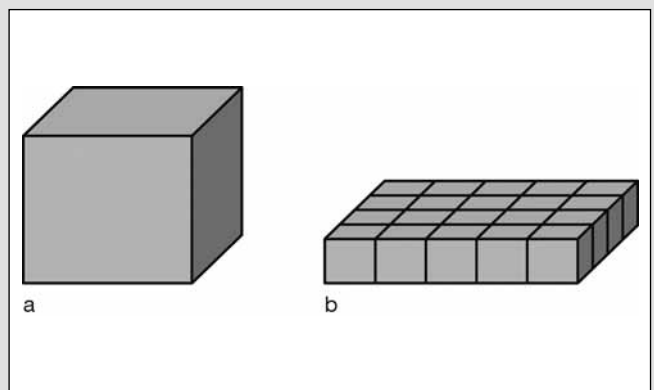
Mould vormdepositiefabricage van turbomachines

Mould Shape Deposition Manufacturing (Mould SDM) is een tweetraps fabricageproces dat gebruikt kan worden voor het verkrijgen van keramische, metalen en kunststof onderdelen. Een vluchtig mould van was wordt als eerste door gebruikmaking van een zogenoemde additief subtractief fabricageproces (zie afbeelding 4 stappen 1 tot en met 4) opgebouwd. Een veelheid aan gietbare materialen, inclusief keramische en metaal gelachte suspensies evenals gietbare thermohardende polymeren kunnen vervolgens in de verkregen vorm worden gegoten (stap 6). Na het verwijderen van de gietvorm (stap 7) worden verscheidene nabewerkingen uitgevoerd, zoals het verwijderen van overbodige bestanddelen. Tenslotte wordt het te realiseren onderdeel verkregen (stap 8). Het zogenoemde sinteren kan worden gedaan na de stappen 7 of 8 [4].

Mould SDM kent enkele voordelen ten opzichte van andere fabricageprocessen. Omdat het hierbij gaat om een proces dat in lagen werkt, kan deze methode worden ingezet voor het verkrijgen van complexe vormen en in tegenstelling tot de meeste van dergelijke – puur additieve – methoden gaat het om een additief-subtractief pro-



Afbeelding 1. De relatie tussen stuwdrumdichtheid (TD) en lengte (L) van een commerciële straalmotor van Pratt and Whitney.



Afbeelding 2. Een enkelvoudig motorsysteem (a) en een redundant systeem (b) met twintig kleine motoren. Eén grote motor wordt vervangen door een factor vier kleinere motoren. Omdat de vermogensdichtheid van de kleinere motoren viermaal hoger ligt, zal het parallelle systeem hetzelfde vermogen leveren met een kwart van het volume. De aldus bespaarde ruimte wordt gebruikt om als extra's vier kleine motoren toe te voegen om de betrouwbaarheid van het systeem te verhogen.

ces. De substractiestap, verkregen door CNC-frezen, stelt ons in staat om mooie, gladde en nauwkeurige vormen te creëren. Mould SDM is bovendien in staat om onderdelen die uit uiteenlopende gietbare materialen bestaan te vervaardigen.

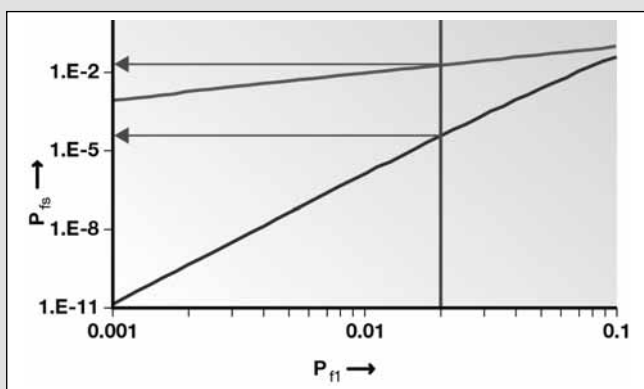
Mould SDM heeft voor het fabriceren van complexe keramische onderdelen twee belangrijke voordelen ten opzichte van andere in lagen werkende fabricageprocessen. Ten eerste zijn alle oppervlakken ofwel bewerkte of gereproduceerde bewerkte oppervlakken. Dit resulteert in gladde, nauwkeurige oppervlakken zonder een enkele vorm van drempeleffecten. Ten tweede bestaat het materiaal van het onderdeel uit monolithisch gietstel. Er zijn met andere woorden geen potentiaal defect opleverende grenslagen in het eindproduct. Deze voordelen zijn vooral van belang voor gietfout gevoelige materialen, waarbij oppervlakteruwheid en interne defecten de materiaalsterkte aanzienlijk kunnen reduceren.

Mould SDM en de miniatuuurturbine

Afbeelding 5 toont een metalen microgasturbine die door M-DOT Aerospace, Arizona, USA is ontworpen en

geproduceerd. De vervanging van de metalen onderdelen door keramische onderdelen met als reden de lagere dichtheid en de hogere temperatureigenschappen van het keramische materiaal resulteert in een betere stuwdruk/massaverhouding en een beter rendement. De volgende versie van deze motor (afbeelding 6) bevat een rotor-as, compressor en turbine gecombineerd in een enkel monolithisch silicium-nitride onderdeel. De oppervlaktekwaliteit van de rotorgroep is belangrijk omdat de sterkte van keramische onderdelen erg afhankelijk is van de oppervlaktegesteldheid. Er dient dan ook opgemerkt te worden dat de geometrie van de rotor geen voorbewerkingen toestaat, zoals slijpen als gevolg van de complexe vorm. Met andere woorden er is een fabricageproces noodzakelijk dat een keramisch, complex gevormd onderdeel met een goede oppervlaktegesteldheid kan produceren. Dit is een vereiste om deze onderdelen voor de microgasturbine te kunnen bouwen.

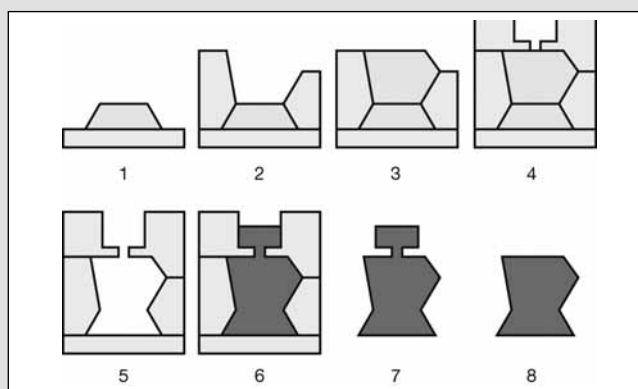
Sinds kort worden silicium-nitride miniatuuurturbines gebouwd met gebruikmaking van Mould SDM en getest met lucht op kamertemperatuur (zie afbeelding 7). De testresultaten laten zien dat de microturbine met een snelheid tot 460.000 rpm draaide. Neem daarbij in aan-



Afbeelding 3. De vergelijking voor de storingswaarschijnlijkheid van een systeem bestaande uit een grote motor (groene lijn) en twintig kleine motoren (paarse lijn). Aannemend dat de storingswaarschijnlijkheid van elke machine ligt op 2×10^{-2} , zal de storingswaarschijnlijkheid voor elke motor afzonderlijk liggen op 2×10^{-2} , maar bedraagt $3,8 \times 10^{-5}$ voor het redundante systeem.

P_{f1} Storingswaarschijnlijkheid voor iedere machine.

P_{f2} Storingswaarschijnlijkheid van een systeem met twintig motoren.



Afbeelding 4. Mould SDM-procedures

merking dat de turbine was ontwikkeld voor een gas met een hoge temperatuur, met een snelheid hoger dan het geluid en met meer interne energie, dan is het resultaat gunstig en bemoedigend [4].

Schaalimplicaties voor brandstofcellen

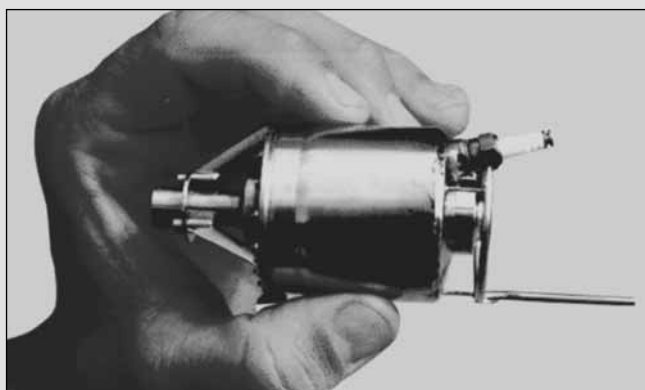
Een brandstofcel is een elektrochemische inrichting of hulpmiddel waarmee elektrische stroom direct via chemische reacties wordt verkregen. De basisbenodigheden bestaan uit een ionengeleidend elektrolytisch membraan gelegen tussen twee elektroden omsloten door brandstof en stroomafnemers (zie afbeelding 8). Een katalysator op een van de elektroden versterkt de scheiding van ionen en elektronen aan de brandstofzijde. Alleen de ionen verspreiden zich door het elektrolyt en recombineren met elektronen aan de oxiderende zijde. De elektronen verspreiden zich via een extern circuit en voorzien daarmee in het elektrische vermogen.

In het ideale geval zal de brandstofcel (of verzameling cellen) evenveel stroom leveren als door de externe belasting wordt vereist, waarbij bovendien de spanning constant blijft. In de realiteit ontstaat er echter een span-

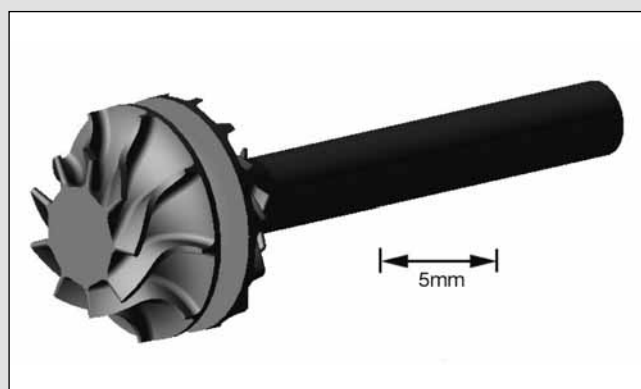
ningsverlies dat toeneemt bij een hogere belastingsstroom, zoals de typische stroom/spanningsgrafiek in afbeelding 9 ons laat zien.

Een hoog renderende brandstofcel is er een die hoge piekvermogens en hoge stroomdichtheden kan leveren met een minimaal spanningsverlies. De verliezen komen hoofdzakelijk voort uit activeringsbegrenzings bij lage stroomdichtheden, ohmse verliezen bij gemiddelde stroomdichtheden en reactieve transportbegrenzings bij hoge stroomdichtheden. Het fundamentele punt van belang voor de miniaturisering van een brandstofcel is het effect van de gemiddelde vermogensdichtheid van het component. Er zijn twee standaardbenaderingen om de schaalimplicaties voor brandstofcellen te bestuderen, waarbij wordt aangenomen dat de maximale vermogensdichtheid als primair criterium geldt.

De eerste directe vraag is of miniaturisering geometrisch gezien voordelen heeft voor de vermogensdichtheid in termen van het aantal watt per eenheid van oppervlakte. In dit artikel is het speerpunt de oppervlakte/volumeverhouding voor erg kleine brandstofcellen.



Afbeelding 5. M-DOT microgasturbinemotor.



Afbeelding 6. Het CAD-model van de silicium-nitride rotorgroep van de microgasturbinemotor. De turbinediameter bedraagt 12 mm. De maximale bladtop heeft een dikte van 220 μm . Het onderdeel is ontworpen om met een snelheid van 800.000 rpm te draaien.

De tweede en zeker niet minder belangrijke beschouwing is de mate waarin de kleinere afmetingen ook daadwerkelijke fundamentele voordelen opleveren in termen van stroom/spanningseigenschappen door van invloed zijnde factoren zoals kinetische en stromingsmechanismen en warmteoverdracht. Het onderstaande voorbeeld gaat in op enkele specifieke gevallen.

Vermogensdichtheid en geometrische beschouwingen

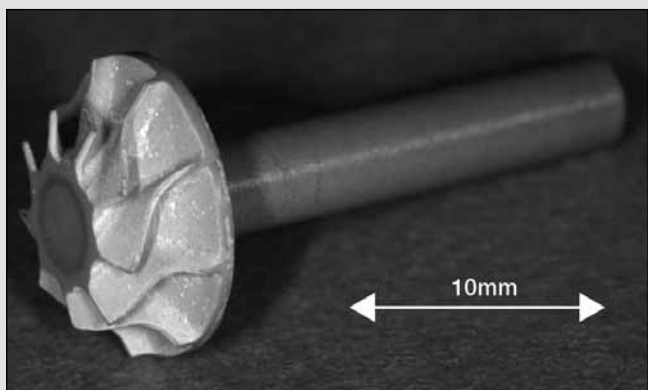
De meeste brandstofcellen beschikken over microporeuze elektroden gescheiden door een elektrolytische laag. Dit ontwerp is vooral geschikt voor continue fabricage. Enkele ontwerpen van vaste brandstofcellen hebben zowel cilindrische als geribbelde vormen, hoofdzakelijk afhankelijk van de toegepaste fabricage- en bedrijfs-overwegingen [5].

Het principe van niet-planaire interfacelagen kan worden uitgebreid met als gevolg een aanzienlijke verbetering van de oppervlakte/volumeverhouding, vooral als het gaat om haalbare microgefabriceerde afmetingen. In afbeelding 10 wordt een conventioneel planair ontwerp

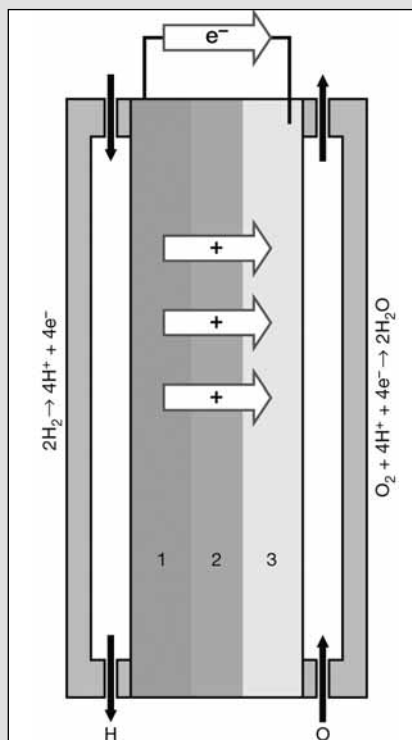
vergeleken met een driedimensionale interface. Het 3D-ontwerp zorgt voor extra ruimte voor de elektrolytische interface door gebruik te maken van verticale oppervlakken. Dergelijke mesoschaaleigenschappen, in de orde van 10 tot 100 μm , vullen de reeds beschikbare oppervlakken van de microporeuze en nanoporeuze oppervlakken aan, die al aanwezig zijn in de gasdiffusie-elektroden zelf.

De toevoeging van een hoogtecomponent verhoogt het totale volume van het component in vergelijking met een absoluut planair ontwerp. Het laten toenemen van de hoogte door het aanbrengen van oppervlaktestructuren verhoogt het volume met slechts een geringe hoeveelheid. Dit omdat het continu verlagen van de kenmerkende breedten weliswaar het oppervlak doet toenemen, maar geen invloed heeft op het volume.

De uitbreiding waarmee het beschikbare gebied, de ruimte, kan worden uitgebreid is slechts begrensd door de minimale kenmerken die vereist zijn voor de functionaliteit en de fabriceerbaarheid. Dienovereenkomstig zijn er dus begrensde ontwerpregels en kritische afmetingen, zoals die ook bestaan voor de fabricage van geïnte-



Afbeelding 7. De gesinterde microturbine zoals die is gebruikt voor de spintest.



Afbeelding 8. Het principe van de brandstofcel.

- 1 anode
- 2 membraan
- 3 kathode

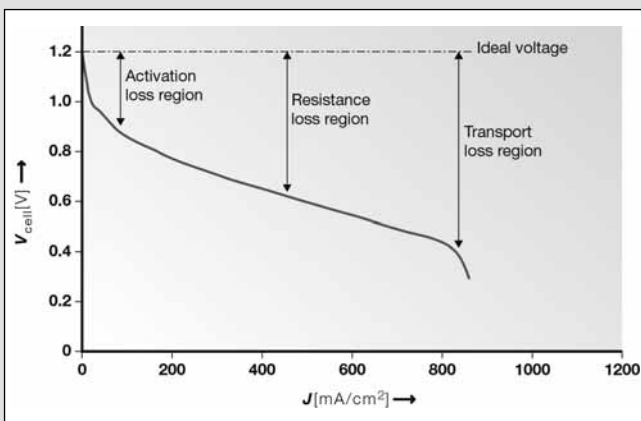
greerde schakelingen (IC's). De typische afmetingen, zoals al gebruikelijk bij polymeer elektrolytische brandstofcellen, bieden belangrijke mogelijkheden om verbeteringen aan te brengen. Kritische afmetingen, zo is algemeen de verwachting, zullen afnemen als de ontwikkeling van de miniaturisering van de brandstofceltechnieken zich verder doorzet. Deze snelle ontwikkelingen herinneren ons aan de succesvolle verkleining van de geïntegreerde schakelingen in de halfgeleiderindustrie. Afbeelding 11 toont een voorbeeld waarbij de parameters zijn gerealiseerd met de al beschikbare techniek.

Vermogensdichtheid en prestatiebeschouwingen

De stromingsweerstand is een belangrijke miniaturisatieparameter. In stroomkanalen is het drukverlies omgekeerd evenredig aan de hydraulische diameter, die wederom varieert met de kanaalgrootte (zie afbeelding 12). Een tweede belangrijke parameter is gasdiffusie. In brandstofcellen wordt het transport van reactiecomponenten naar de elektrolytische interface gestuurd door de diffusie van gasmoleculen door de poreuze elektroden.

Een specifiek voordeel van microbewerkte stromingsstructuren is het feit dat het aantal niet-bewerkbare gebieden kan worden beperkt. Dit verbetert de totale prestaties van de gasdiffusie door de poreuze elektroden. Afbeelding 13 geeft weer hoe de gereduceerde kanaalgrootte over hetzelfde elektrische contactgebied (50 % in dit geval) beschikt over kleinere afgesloten regio's en meer uniform gedistribueerde mechanische ondersteuning.

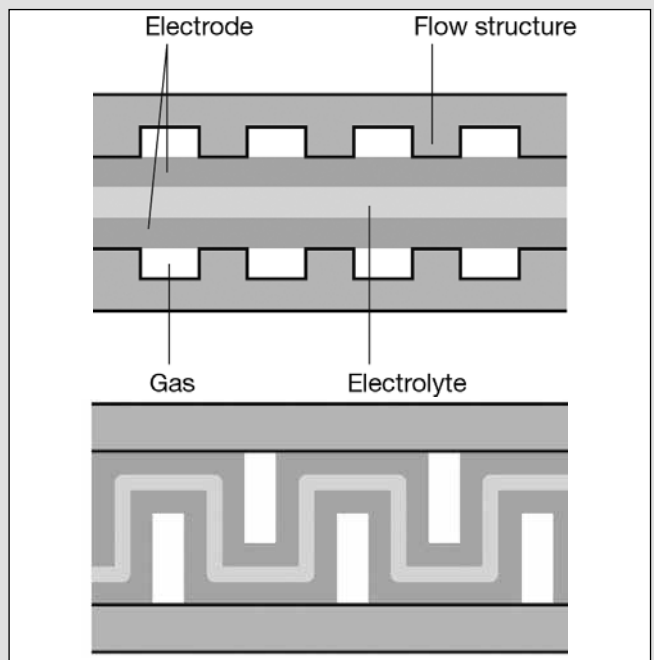
Een ander belangrijk kenmerk van brandstofcellen is de elektrische weerstand. Een lage elektrische weerstand is wenselijk in verband met een hoog rendement van de energie-omzetting in de brandstofcel. De elektrische weerstand R is proportioneel met de weglengte L en omgekeerd evenredig aan de doorsnede van het gebied A . De weerstand van een materiaal is over het algemeen niet afhankelijk van de grootte, tenzij de afmetingen de atomaire schaal benaderen. Een voordeel van een miniatuurontwerp is dat de verbindingen tussen de seriegeschakelde cellen meestal korter zijn dan in hun in het groot uitgevoerde tegenhangers. Het is echter ook weer zo dat de uniforme afname van de grootte in alle dimensies vaak resulteert in een hogere elektrische weerstand,



Afbeelding 9. De typische I/V-prestatiegrafiek van een brandstofcel.

V_{cell} Celspanning

J Stroomdichtheid

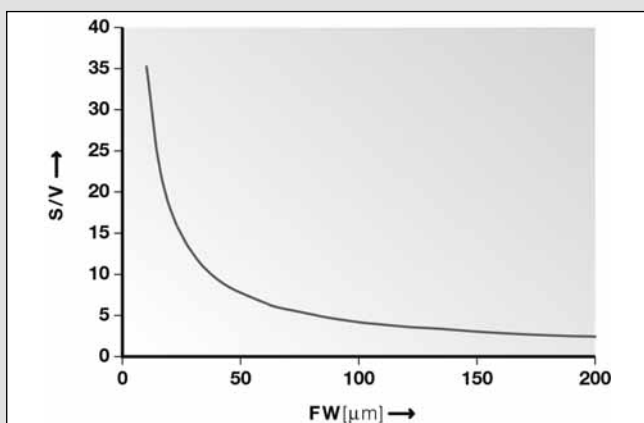


Afbeelding 10. De planaire cel (boven) versus de 3D-configuratie. Elektrode aangebrachte structuur gas elektrolyt

omdat de weerstand omgekeerd evenredig is aan de lengte in het kwadraat.

Miniaturisering biedt echter wel een subtiel voordeel ten aanzien van kortere verbindingspaden. Brandstofcellen beschikken over twee gemeenschappelijke configuraties: monopolaire en bipolaire (zie afbeelding 14). De bipolaire constructie is vrijwel eenduidig geadopteerd als het gaat om de automobiellindustrie en de applicaties waarin grotere cellen worden toegepast. Dit alleen vanwege de eenvoudige constructie. De monopolaire versie is echter fundamenteel gezien compacter, omdat een enkele brandstofkamer twee anodes bedient en een oxidatiekamer twee kathodes bevat.

Het monopolaire ontwerp beschikt echter over een nadeel als het gaat om een vergelijking te trekken naar grotere systemen omdat de elektrische stroom lateraal over de elektroden moet stromen; in een miniatuursysteem is deze afstand aanzienlijk kleiner. Vandaar dat een kleiner systeem de optie openlaat voor het toepassen van een compact ontwerp met gebruikmaking van een monopolaire gestapelde uitvoering.



Afbeelding 11. Een genormaliseerde oppervlakte/volumeverhouding (S/V) versus kenmerkende breedte (FW feature Width) voor een gerimpelde brandstofcel.

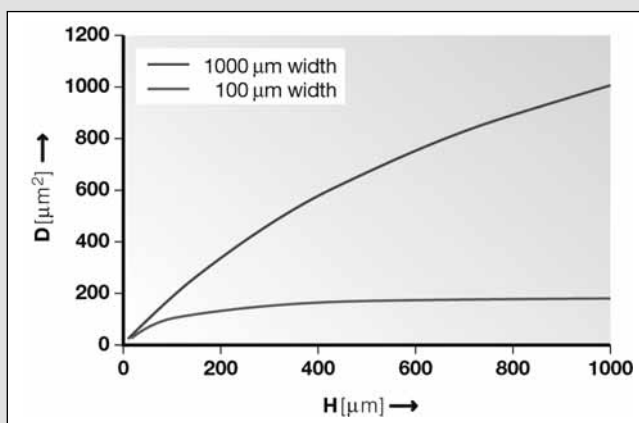
De elektrolytische dikte bedraagt $60 \mu\text{m}$, de elektrodedikte $80 \mu\text{m}$, de flow backing $500 \mu\text{m}$. De afbeelding laat zien dat voor een erg kleine kenmerkende grootte een aanzienlijke verbetering van de oppervlakte/volumeverhouding wordt verkregen met gerimpelde kenmerken. (De genormaliseerde oppervlakte/volumeverhouding is gedefinieerd als de oppervlakte/volumeverhouding van een van oppervlaktestructuur voorziene cel gedeeld door die van de planaire tegenhanger.)

Miniaturisering biedt een voordeel ten aanzien van kortere verbindingspaden

Brandstofcelfabricage

Het zogenoemde diepe silicium etsproces (zie afbeelding 15) laat hoge geometrische complexiteit tegen vrijwel minimale kosten toe. Dit is in sterk contrast met de conventionele fabricageprocessen, zoals bewerken.

De fundamentele eisen voor het elektrodemateriaal zijn een grotere oppervlakte voor de ondersteuning van het katalysatieproces, een hoge elektrische geleiding en een uniforme gasdiffusie. Het concept van een mesoscopische 3D-interface voegt daaraan de niet zo triviale voorwaarden van de definitie van het aanbrengen van structuren



Afbeelding 12. Hydraulische diameter (D) versus de kanaalhoogte (H) voor een tweekanaals-breedte. Een grotere hydraulische diameter is in overeenstemming met de gewenste condities, zijnde de lagere drukverliezen. Het verbreden van het kanaal ($1000 \mu\text{m}$) is in dit voorbeeld aan te raden. Het is interessant te zien dat de schaalgrootteverhouding dicteert dat D relatief gezien ongevoelig voor H wordt op het moment dat deze de breedte van $100 \mu\text{m}$ overschrijdt.

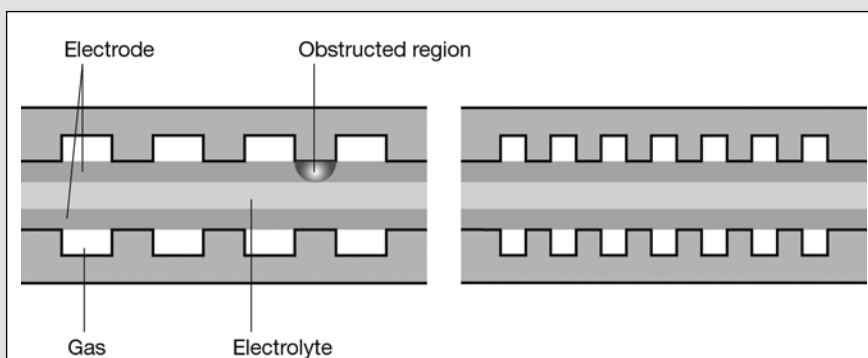
toe. Verschillende alternatieven zijn onderzocht om een goed controleniveau van het fabricageproces te verkrijgen. Initiële studies omvatten onder andere plasma-sputten, galvanisering met een oplossend materiaal en het aanbrengen van vervormbare pastalagen. De grootste uitdaging vormt wel de controle over de poreusheid van het materiaal.

Een nieuwe techniek genaamd micro-mould metal casting is toegepast voor het verkrijgen van de patroonbevattende microporeuze eigenschappen, die voordien met andere methoden onhaalbaar was. In deze techniek wordt gebruikgemaakt van een metaalpoeder dat fijn verdeeld in een oplossing is ondergebracht en daarmee een gel vormt die vervolgens in een voorgedefinieerde vorm wordt gegoten. Na ontbinding wordt het metalen groene deel onder voor poreusheid en massasterkte geoptimaliseerde condities gesinterd. Geëtste silicium moulds (vormstukken) evenals andere fotolithografisch gebaseerde moulds worden gebruikt voor het realiseren van de microporeuze zilveren elektroden met structuurkenmerken in de orde van 100 µm, zoals in afbeelding 16 is te zien. Modellen met een structuur van 25 µm zijn op deze wijze via silicium moulds reeds gerealiseerd.

De mogelijkheid om willekeurige patronen op elektroden met een gecontroleerde poreusheid te krijgen heeft niet alleen voordelen voor het 3D-interface-ontwerp, maar levert bovendien de gelegenheid om functionaliteit mee te integreren om de stromingsdistributie te optimaliseren. Deze ontwerpvrijheid geeft de mogelijkheid tot het vinden van oplossingen gericht op het verbeteren van de kritische eigenschappen, zoals stromingsweerstand en een niet-uniforme diffusie.

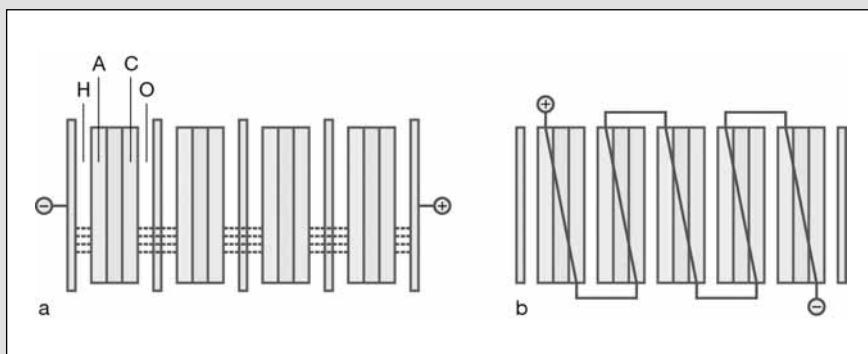
Van theorie naar praktijk

Hoewel er een aanzienlijke vooruitgang op alle fronten is geboekt, valt er op empirisch gebied nog veel werk te verzetten. Zoals aangegeven vormen vorderingen in fabricagetechnieken een kritische factor in het vervaardigen van prototypen, zoals bijvoorbeeld de hiergenoemde turbine en de componenten voor de brandstofcel. Naast andere inspanningen op dit gebied werkt ABB nauw samen met Stanford University in het onderzoek naar de voordelen van kennis op het gebied van miniaturisering (downscaling) en in de studie naar de toepassing in industriële applicaties.



Afbeelding 13. Micro-bewerking maakt het mogelijk om het aantal niet-bewerkbare gebieden te reduceren door verkleining van de afzonderlijke contactoppervlakken (rechts).

Elektrode afgesloten regio gas elektrolyt.



Afbeelding 14. Bipolaire (a) versus monopolaire (b) gestapelde brandstofcelconfiguraties.

- A. anode
- C. kathode
- H. water
- O. zuurstof

Auteurs:

Sangkyun Kang – Rapid Prototyping Laboratory, Stanford, CA 94305-3030, USA, kangsk@stanford.edu;

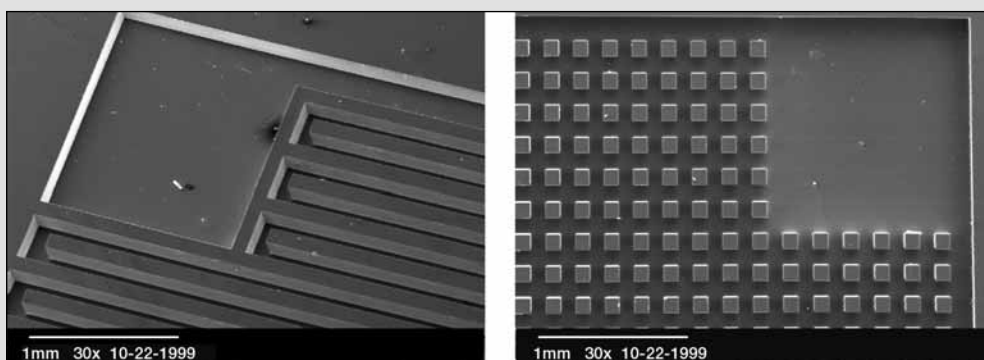
Sang-Joon John Lee, PO Box 19760, Stanford, CA 94309, USA, sang-joon.lee@stanford.edu;

Fritz B. Prinz, Rapid Prototyping Laboratory, Stanford, CA 94305-3030, USA, fbp@cdr.stanford.edu.

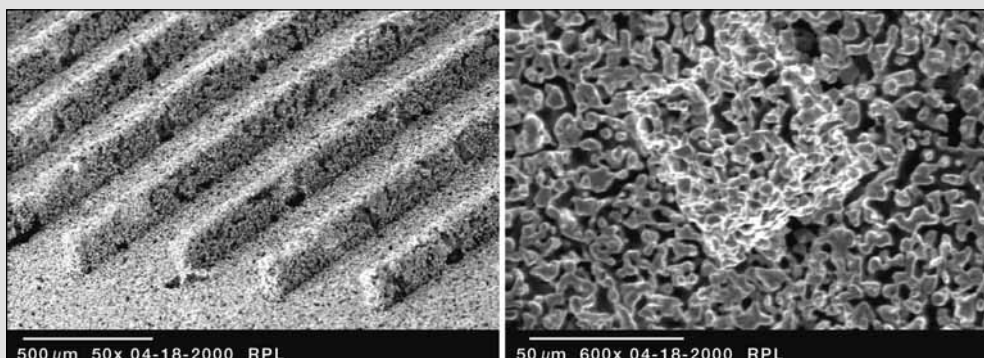
ABB en Stanford University werken nauw samen op een aantal gebieden. In dit artikel gaan professor Prinz, R.H. Adams, Professor of Engineering in the Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering en zijn collega's in op nieuwe zogenoemde downscaled fabricagetechnieken. Deze technieken hebben impact op de ontwikkeling van producten van ABB. Gezamenlijke projecten zijn gestart om de voordelen van de op Stanford uitgedachte technieken op het gebied van industriële sensing te exploiteren.

Bronnen:

- [1] G.T. Casanady: Theory of Turbomachines, McGraw-Hill, New York, 1965.
- [2] <http://www.pratt-whitney.com/engines/commercial.html>.
- [3] A.G. Cooper, et al: Fabrication of structural ceramic parts using Mold SDM. Proceedings of the American Ceramics Society meeting, Cocoa Beach, Florida, USA, January. 2000.
- [4] S. Kang, et al: Application of the Mold SDM process to the fabrication of ceramic parts for a micro gas turbine engine. Proceedings Ceramic Materials and Components for Engines, edited by J.G. Heinrich, Germany, June 2000.
- [5] N.G. Minh: Ceramic Fuel Cells. Journal of the American Ceramic Society, 76.3 (1993).



Afbeelding 15. Voorbeelden van de stromingsstructuren in silicium met een 100µm-kanaal. De kanaalgrootten variëren van 200 µm tot 50 µm en zijn reeds gerealiseerd op cellen met een oppervlakte van 1 cm². Gemiddeld worden zestien of meer cellen simultaan gefabriceerd om iedere silicium wafer van 100 mm.



Afbeelding 16. Microporeuze elektroden geproduceerd door gebruik te maken van een metaalgel (gietwerk).

Compacte precisieslede VP-25XA of actuator VP-25AA

De met DC servomotor uitgeruste VP-25XA heeft een kogelomloopspindel en kogelomloopgeleidingen en is onlangs geïntroduceerd in het Motion Control productpakket van Newport.

Een ingebouwde lineaire encoder staat borg voor de omschreven precisie: de speling is nul. Een speciaal ontworpen leeskop zorgt dat intern geen kabels bewegen.

Een handbediende knop, laag profiel en hoge betrouwbaarheid maken toepassingen mogelijk in laboratorium en industrie waarvoor de slede specifiek is ontworpen:

fiber-optisch en optisch uitlijnen, manipulatie van semiconductor onderdelen, bio-medisch en hoge precisie test-, meet- en assemblage-applicaties.

Het modulaire ontwerp maakt multi-axis

samenbouw ongecompliceerd.

Tot de accessoires behoren brackets voor samenbouw tot XYZ of met andere Newport componenten zoals de SR50 rotatietafel en rails voor het plaatsen van fibers.

De VP25 is ook zonder geleiding als actuatorversie VP-25AA leverbaar.

Beide types zijn aansluitbaar op Newports een- en meerassige motion controllers MM4006, ESP100/300.

Specificaties VP-25XA:

Slag: 25 mm.

Max. snelheid: 25 mm/s.

Dimensies: breedte 110 mm, lengte 138.4 mm, hoogte 27mm +12 mm voor de topplaat

Resolutie: 0.1 micron

Bi-dir. herhaalnauwkeurigheid: 0.2 micron

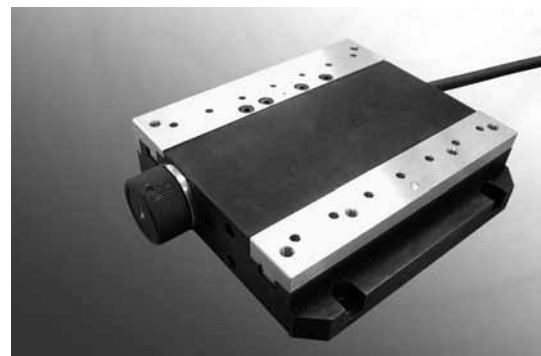
Accuracy minus speedfout: 2 micron

Pitch, Yaw: 100 microrad.

Normaalbelasting: 60 N

Axiale belasting: 40 N

MTBF: 20.000 uur



Nieuw model FDM Titan verwerkt hightech kunststoffen

Het Amerikaanse Stratasys heeft een belangrijke stap voorwaarts gezet met de introductie van een nieuw Rapid Prototyping systeem – de FDM Titan. Het nieuwe systeem maakt prototypen van polycarbonaat (PC) en polyfenylsulfon (PPSF), welke uitstekende eigenschappen voor functioneel testen bezitten. Daarnaast werkt de machine met het al langer bekende acrylonitril butadien styreen (ABS). De Titan bouwt modellen van elk van de drie materialen, waarbij het omstellen een kwestie van minuten is. Deze nieuwe hightech materialen bieden een groot aantal

nieuwe mogelijkheden, zoals uitstekende slagvastheid, hoge sterkte en stijfheid, belastbaar bij hoge temperaturen (tot 210 °C), brandwerende eigenschappen, steriliseerbaarheid en bestendigheid tegen oliën, benzines, oplosmiddelen, chemicaliën en zure en basische vloeistoffen. De introductie van de FDM

Titan is een antwoord op de marktverwachting om prototypen steeds vaker en zwaarder functioneel te kunnen testen. Autofabrikanten kunnen een prototype rechtstreeks vanuit de FDM Titan op een motorblok bevestigen en onder realistische praktijkomstandigheden testen. Hiermee maakt de FDM Titan een enorme besparing in tijd en kosten mogelijk. Met de FDM Titan komt naast Rapid Tooling (het direct en automatisch produceren van vormholtes, buigstempels, mallen of matrijzen) met name Rapid Manufacturing (het direct en automatisch produceren van eindproducten, zonder dat daarvoor productiegereedschappen nodig zijn) binnen handbereik. Naast de drie reeds beschikbare materialen zullen in de toekomst nog meer materialen verkrijgbaar zijn. De FDM Titan is hier nu al op voorbereid. Onder de toekomstige materialen zal in elk geval een PC/ABS mix zijn. PC/ABS mixen worden veel toegepast in bijvoorbeeld computerbehuizingen, mobiele telefoons en speelgoed.

De eerste FDM Titan in Europa is te bezichtigen bij Somatech te Veenendaal.

Technische woordenboeken

Na verschijning van de *Groot Polytechnische Woordenboeken* edities Engels en Duits, presenteert ten Hagen & Stam uitgeverij uit Den Haag de geheel nieuwe delen *Groot Polytechnisch Woordenboek* Nederlands – Frans en Frans – Nederlands. Elk deel telt ruim 1000 pagina's en bevat meer dan 90.000 trefwoorden en hun veelvoud van vertalingen. Beide woordenboeken worden gecompleteerd met uitgebreide appendices met nuttige informatie zoals conversietabellen, nomenclatuur, chemische elementen, grootheden, en dergelijke.

De woordenboeken zijn bestemd voor ingenieurs, technici en onderzoekers werkzaam in de industrie, (technisch) vertalers, overheids- en semi-overheidsinstellingen, ondernemers en secretariatsmedewerk(st)ers werkzaam in de industrie of technische (groot)handel, docenten en studenten aan technische universiteiten en in het hoger onderwijs. De *Groot Polytechnische Woordenboeken* Nederlands – Frans en Frans – Nederlands kosten per deel € 126,00 (fl. 277,67). Een set van beide delen kost € 214,00 (fl. 471,59). NB: deze prijzen zijn exclusief BTW en verzendkosten.



Precisietechnologie/Mechatronica nu voor zowel mbo'ers als hbo'ers

De Hogeschool van Utrecht (HvU) start samen met de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN), de Technocentra van Arnhem en Utrecht en de fa. Delba te Duiven in februari 2002 de duale hbo-opleiding Precisietechnologie/Mechatronica. Met deze opleiding kunnen fijnmechanische specialisten in het midden- en kleinbedrijf in drie jaar tijd hun hbo-diploma halen.

Met de driejarige duale hbo-opleiding Precisietechnologie/Mechatronica wordt een efficiënte combinatie van leren en werken geboden. De duale hbo-student Precisietechnologie volgt een dag en avond per week onderwijs. De overige dagen werkt de cursist in het bedrijf.

Door de Hogeschool van Utrecht is een driejarig studieprogramma ontwikkeld dat is afgestemd op de wensen van de (kleinere) metaalbedrijven. Het onderwijs is telkens gecen-

treerd rond een thema. Thema's die aan de orde komen zijn onder andere ingenieursvaardigheden, productontwikkeling en productietechnieken. De hbo-ingenieur Precisietechnologie/Mechatronica is niet alleen technisch goed onderlegd maar is tevens innovatief, communicatief, ondernemend en goed thuis in onderwerpen als CAD/CAM, kwaliteit, nauwkeurigheid en kosten.

Toegelaten worden personen met kennis op minimaal mts-niveau Fijnmechanische techniek of Werktuigbouwkunde en enkele jaren relevante bedrijfservaring.

Op de volgende data vinden informatiebijeenkomsten plaats:

7 november 2001: fa. Delba te Duiven

8 november 2001: PTOpleidingen, Hogeschool van Utrecht

12 december 2001: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen te Arnhem

Neem voor informatie en aanmelding voor de informatiebijeenkomsten contact op met:

Secretariaat PTOpleidingen

Antwoordnummer 9666

3500 ZG UTRECHT, tel. 030 238 8888

E-mail : info@ptgroep.nl

Post hbo-opleiding Fijnmechanische Techniek/Mechatronica

Na afloop van de cursus is de deelnemer in staat een ontwerp op een integrale (mechatronische) wijze aan te pakken. Dit zowel individueel als in een interdisciplinair team. De cursus is bestemd voor constructeurs en andere technici op tenminste hts-niveau, die betrokken zijn bij het ontwerpen van mechatronische producten.

Zowel de duale opleiding voor mbo'ers als de post hbo-opleiding start op 4 februari 2002.

ADVERTENTIE SALOMON

1/2 z/w

- hoekmeetsystemen
- lengtemeetsystemen
- contourbesturingen
- digitale uitlezingen
- meetasters
- impulsgevers

hoe meet men vertrouwen?



Vertrouwen is het begin van elke relatie en gelijktijdig het resultaat van meetbare factoren als kwaliteit, precisie, en betrouwbaarheid. Dat is de basis voor oplossingen die veel meer zijn dan alleen producten. Zo ontstaan HEIDENHAIN besturingen, lengte- en hoekmeetsystemen die in veel industrietakken ertoe bijdragen dat de productiviteit kan stijgen. Zelfs de hoogste instanties, zoals vele standaardlaboratoria in de wereld, verlaten zich bij de definitie van lengten en hoeken op de nauwkeurigheid van HEIDENHAIN. Een mooi bewijs dat vertrouwen meetbaar is. HEIDENHAIN NEDERLAND B.V., Postbus 107, 3900 AC Veenendaal, Tel: (03 18) 54 03 00 Fax: (03 18) 51 72 87, verkoop@heidenhain.nl, www.heidenhain.nl

HEIDENHAIN