

Nanotechnologie en MST in Japan

Philip Wijers en Erik Blomjous – 9-10-2003

Samenvatting

Japan heeft op een groot aantal nanotechnologiegebieden een duidelijke voortrekkersrol. Om deze rol te kunnen behouden is het dan ook voor de Japanse industrie van essentieel belang dat het in de toekomst kan blijven concurreren met Europa en de VS. Succesvolle toepassing van verschillende nanotechnologieën in o.a. elektronica, materialen, de medische wereld en in micro- en nanosystemen is daarbij van (over)levensbelang. Inmiddels zijn de overheidsbudgetten voor R&D in verschillende nanotechnologiegebieden in de afgelopen jaren sterk gestegen. Er wordt op een succesvolle manier samengewerkt met de kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven. Dit artikel geeft een overzicht van prominente technieken, personen, bedrijven en instellingen op het gebied van Nano en MST technologieën in Japan.

Details

Inleiding

Na de aankondiging van het National Nanotechnology Initiative (NNI) in de VS in 2000, is de Japanse overheid zich op een structurele en intensieve manier met het stimuleren van nanotechnologie gaan bezighouden. Nano- en materiaaltechnologie (NMT) en microsysteemtechnologie (MST) zijn van enorm strategisch belang voor de Japanse overheid, kennisinfrastructuur en ondernemingen. Miniaturisatie heeft altijd al een belangrijke rol gespeeld in het economisch succes van Japan. Daar kan men bij de toepassing van MST goed op voortborduren. De uitdagingen op nanoschaal zijn echter van een andere orde. Japan heeft al sinds de jaren tachtig een leidende rol in onderzoek op het gebied van NMT en MST. Het ERATO (1) (Exploratory Research for Advanced Technology) Nano-mechanism Project (1985) van Japan Science and Technology Corporation (JST) en Nikon (2), de ontdekking van carbon nanotubes (1991) door dr. Sumio Iijima van NEC(3) en het Atom Technology Project (1992) van AIST onder MITI (4) zijn hiervan goede voorbeelden. De activiteiten in de nanowetenschappen en MST in Japan zijn te breed en veelomvattend om in detail te bespreken. In dit artikel wordt daarom volstaan met een aantal belangrijke ontwikkelingen bij de overheid, het bedrijfsleven en op het gebied van de kennisinfrastructuur. Voor gedetailleerde informatie, contacten en samenwerking kan TWA Tokio benaderd worden.

Nanotechnologie R&D beleid in Japan

Nanotechnologie, of beter nanowetenschappen, zijn bij uitstek multidisciplinair. De

Japanse beleidsmakers zijn zich hiervan terdege bewust. Deze multidisciplinariteit vormt tevens een grote uitdaging voor een succesvolle implementatie van het nano-onderzoeksbeleid vanwege de sterk verzuilde en hiërarchische wetenschappelijke wereld in Japan. Verder zal de samenwerking tussen de kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven voor NMT moeten worden verbeterd.

Council for Science and Technology Policy

De Council for Science and Technology Policy (CSTP, 5) valt direct onder de Cabinet Office (6). De CSTP staat hiermee hiërarchisch boven de verschillende ministeries. De raad is verantwoordelijk voor het ontwikkelen van een strategische visie op S&T (Science & Technology) door middel van vijfjarenplannen (= Science & Technology Basic Plan), het toewijzen van S&T budgetten aan de verschillende ministeries, het evalueren van grote R&D projecten die met overheidsgeld gefinancierd worden en de algehele bevordering van S&T in Japan. Verder is de CSTP S&T aanspreekpunt voor de premier en andere bewindspersonen. In het tweede S&T vijfjarenplan (Second Science & Technology Basic Plan (7) met een budget van JPY 24 biljoen of €185 miljard, dat van april 2001 tot maart 2006 loopt, zijn nanotechnologie en materialen, naast informatie- en communicatietechnologie, milieutechnologie en levenswetenschappen, voor de Japanse overheid als één van de vier doorbraaktechnologieën gepositioneerd. De CSTP heeft voor NMT een projectteam en vijf themaspecifieke werkgroepen benoemd met een aantal gerenommeerde leden. Dit projectteam heeft op basis van drie onderliggende criteria prioriteiten vastgesteld voor het NMT beleid. Deze drie criteria zijn:

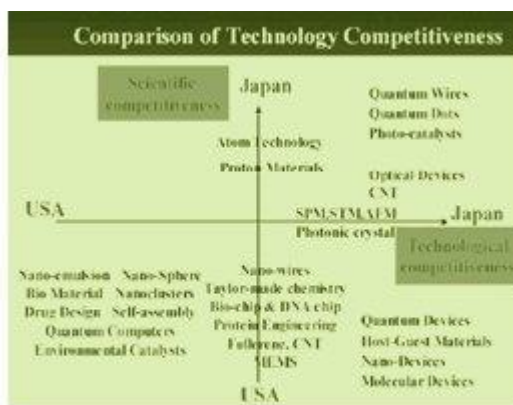
1. Opties ter versterking van industriële concurrentiekracht d.m.v. nieuwe productietechnologieën en systemen;
2. Het vermogen om oplossingen voor hedendaagse problemen in de Japanse samenleving te bieden: energievoorziening, milieu, laag geboortecijfer en vergrijzing;
3. Het behoud en de ontwikkeling van strategische technologieën en het bieden van veiligheid en ontplooiingsmogelijkheden voor de Japanse bevolking.

Uit deze criteria zijn de volgende prioriteiten voor NMT naar voren gekomen:

- Nano-devices;
- Nano-bioindustrie (drug delivery systems (DDS) & nanomedische toepassingen);
- Nanomaterialen;

- Nano energie & milieu;
- Nano-instrumentatie, micro-machines, simulatie en verwerking.

De CSTP heeft in 2001 een onderzoek laten uitvoeren waarbij Japan en de VS (Europa telt bij vergelijkingen vaak niet mee in Japan) op twee nanotechnologie criteria vergeleken werden: het aantal relevante wetenschappelijke artikelen (scientific competitiveness) en het aantal relevante geregistreerde patenten (technological competitiveness). De resultaten staan in figuur 1. Zo loopt Japan wetenschappelijk en technisch voor op alle technologie gebieden, genoemd in het kwadrant rechtsboven. Uit het kwadrant rechtsonder blijkt dat Japan op een aantal gebieden technologisch voorloopt terwijl het wetenschappelijk relatief achterloopt. Dit is te verklaren uit het feit dat onderzoeksprojecten in de VS thematisch veel met modellen en simulaties werken. In Japan ligt de nadruk veelal op experimenten (8).



Figuur 1 - Vergelijking van het nanotechnologisch concurrentievermogen Japan - VS.

Overheidsuitgaven voor nanotechnologie.

Het Japanse overheidsbeleid met betrekking tot R&D in NMT en MST heeft door de aankondiging van het National Nanotechnology Initiative (NNI) van President Clinton in 2000 een enorme stimulans gekregen. Als reactie op het NNI kwam Keidanre (9), de Japanse counterpart van VNO/NCW, met een rapport waarin de conclusie stond dat nanotechnologie de baanbrekende technologie voor de 21e eeuw zou worden. Tsutomu Kanai, de voorzitter van de raad van bestuur van Hitachi (10), kwam met de volgende uitspraak: 'Japans R&D op het gebied van nanotechnologie is van wereldklasse. Wij geloven dat we deze positie kunnen behouden. We moeten echter niet dezelfde fout begaan als met biotechnologie.' Om bij te blijven moet de Japanse overheid aanzienlijk meer investeren in NMT onderzoek (zie tabel 2). Het totale overheidsbudget voor investeringen in NMT bedroeg in het fiscale jaar (FJ) 2002 ongeveer JPY 120 miljard of €925 miljoen. Ondanks een staatsschuld van meer dan

150% van het BNP verwacht men een toename van het NMT budget met 16% voor FJ 2003. Voor 2002 investeert de Japanse overheid daarmee aanzienlijk meer in nanotechnologie dan Europa met €415 miljoen en de VS met €505 miljoen (bron: nABACUS Ltd.).



In Japan gaat het grootste deel van de NMT en MST onderzoeksbudgetten naar twee ministeries, het Ministry of Economy, Trade and Industry (METI, 11) en het Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT, 12). Het grootste deel van de onderzoeksbeurzen uit tabel 2 wordt ook door MEXT beheerd. Aanzienlijk kleinere R&D budgetten zijn voor het Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW, 13) op het gebied van nanomedicatie (DDS, proteïneanalyse en geminiaturiseerde instrumenten voor het uitvoeren van operaties), het Ministry of Public Management, Home Affairs, Post & Telecommunications (MPHPT, 14) op het gebied van telecommunicatie en voor het Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF, 15) op het gebied van bio-nanotechnologie. Bij onderverdeling per technologiegebied (figuur 2) blijkt duidelijk dat het grootste deel van de overheidsfinanciering besteed wordt waar voor het Japanse bedrijfsleven de beste kansen liggen: IT, elektronica en materialen. Dit zijn tevens de gebieden waar op relatief korte termijn voor NMT succesvolle commerciële toepassingen te verwachten zijn. Bij NMT overlappen onderzoeksgebieden elkaar vaak. In 2001 ging 24% van het NMT overheidsgeld naar pure materiaaltechnologie, 40% naar pure nanotechnologie en 36% naar technologieën in het grensvlak tussen nanotechnologie en materiaaltechnologie.



Nanotechnologie programma's van het Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

Samen met de onderzoeksbeurzen van Japan Science and Technology Corporation (JST, 16) en de Japan Society for the Promotion of Science (JSPS, 17), de financiering van universiteiten en nationale laboratoria, beschikt MEXT over het grootste budget voor NMT gerelateerd onderzoek. MEXT heeft o.a. de volgende onderzoeksprogramma's geïnitieerd.

Virtual Laboratory project

Voor dit project is ca. €38 miljoen beschikbaar. Wetenschappers en onderzoekers uit een groot aantal disciplines verrichten in dit project in kleine teams multidisciplinair

onderzoek in tien nanotechnologie gerelateerde onderzoeksthema's.

1. Volgende generatie VLSI (18) materialen en schakelingen;
2. Quantum elektronica schakelingen;
3. Bionano-applicaties;
4. Energieconversie en opslag;
5. Nanocomposiet materialen;
6. Koolstofnanobuisjes (CNT's) & fullarenen;
7. DDS;
8. Nanoporeuze materialen;
9. Programmeerbare zelfassemblerende moleculen;
10. Nanometrologie.

Voor dit programma is een groot aantal onderzoeksbeurzen (Competitive Research Grants) beschikbaar. Het gaat hier om NMT technologieën met een commercialiseringshorizon van 10 ? 20 jaar.

NanoNet (19) Nanotechnologie Support Project

Voor NanoNet is ca. €29 miljoen gereserveerd. Het doel van NanoNet is vierledig:

1. Informatieverzameling en uitwisseling;
2. Samenwerking tussen onderzoekers stimuleren;
3. Technologie overdragen;
4. Nieuwe gespecialiseerde onderzoeksfaciliteiten creëren.

MEXT heeft een database opgezet waarin alle publieke en private onderzoeksresultaten op het gebied van NMT worden opgenomen. De informatieuitwisseling tussen onderzoekers uit verschillende disciplines en tussen onderzoekers uit het bedrijfsleven, van onderzoeksinstellingen en universiteiten moet verbeterd worden. Verder moet via NanoNet strategisch onderzoek op de raakvlakken van traditionele vakgebieden gestimuleerd worden. Men wil met NanoNet tevens het gebruik van de dure NMT infrastructuur in Japan optimaliseren. Het Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN, 20), National Institute for Material Sciences (NIMS, 21) en een aantal nationale universiteiten werken samen bij het opzetten van een gezamenlijke infrastructuur voor dit project. In tabel 3 staat een overzicht van instellingen die zich hebben aangesloten bij NanoNet, gegroepeerd in vier faciliteitenclusters.



Nanomateriaal-programma

Op het gebied van materiaalwetenschappen richt MEXT zich op energie en milieu, o.a. op keramische materialen die dioxine kunnen afbreken en op staal dat een twee keer zo lange levensduur en verdubbelde sterkte heeft ten opzichte van conventioneel staal.

Nanotechnologieprogramma's van het Ministry of Economy, Trade and Industry

METI richt zich bij ondersteuning van NMT voornamelijk op industriële R&D. Het METI heeft de hieronder genoemde onderzoeksprogramma's in beheer. De R&D financiering loopt veelal via New Energy and Industrial Technology Development Organisation (NEDO, 22), een soort agentschap van METI vergelijkbaar met Senter in Nederland of het National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST, 23). Naast onderstaande directe METI-projectfinanciering komen de nanotechnologie activiteiten van de onderzoeksinstituten van het AIST in aanmerking voor €525 miljoen aan NMT financiering (zie paragraaf over AIST).

Nanotechnology Program (NP)

Het NP ontving in 2002 een METI-budget van ca. €65 miljoen voor onder meer nano-fabricage en metrologie (NMM) en een verdere verdieping van het Materials Nanotechnology Project (MNP) o.a. gericht op CNT's, fullerenes, nanopolymeren, coatings, metalen en glas. Het MNP, met een budget van €43 miljoen, wordt uitgevoerd door NEDO. Momenteel zijn 80 bedrijven, 53 universiteiten en 17 onderzoeksinstituten bij het MNP betrokken. Verder is er aandacht voor nanometrologie, nanodeeltjes en ?structuren en het werken met modellen en databases. In een separaat nanofabricage- en nanometrologieproject van €13 miljoen binnen het MNP wordt onderzoek gedaan naar nanocapsules, elektrokeramiek, de volgende generatie lithografie en metrologie voor de karakterisatie van nanogestructureerde hardware toepassingen.

Nanotechnology & Materials Strategy Office (NMSO)

METI heeft een afdeling opgezet die het commercialiseren van ontwikkelingen in nanotechnologie R&D moet bevorderen. Het personeel van het NMSO is afkomstig van METI en AIST. Sinds februari van dit jaar is er een Nanotechnology Commercialisation Execution Plan. Bovendien is er een Japan Nanotech Business Network Center (JNBNC) opgericht. De NMSO richt zich op het commercialiseren van de volgende technologieën: volgende generatie halfgeleidertechnologie, optische netwerken, volgende generatie beeldschermtechnologie, medische micromachinetehnologie, micromeettechnologie, brandstofceltechnologie,

instrumentatie en fotokatalysetechnologie.

MIRAI Project (24)

Het is voor de Japanse industrie van immens belang om voorop te blijven lopen op het gebied van halfgeleiders. Door de continue miniaturisatie van halfgeleiders over de afgelopen drie decennia worden de grenzen voor de conventionele materialen en productietechnologieën bereikt en komt nanotechnologie voor de volgende generaties halfgeleiders als alternatief in beeld. Een flagshipproject is het Millennium Research for Advanced Information Technology (MIRAI, ook het Japanse woord voor toekomst) project dat loopt van 2001–2007 en gefinancierd wordt door METI, in 2002 met €35 miljoen. De uitvoering aan de kant van het bedrijfsleven vindt plaats door NEDO in Tokio en aan de wetenschappelijke kant door AIST, o.a. in de wetenschapstad Tsukuba, ten noorden van Tokio.

Microsysteem en -machinetechnologie

De voorganger van METI, MITI heeft in 1992 het Micromachine Centre (MMC, 25) opgezet. Hier wordt o.a. onderzoek naar lab-on-a-chip technologie uitgevoerd in samenwerking met andere onderzoeksinstituten, universiteiten en een dertigtal bedrijven. Ook hier is op initiatief van METI een internet database opgezet waarbij alle aangesloten organisaties toegang hebben tot de onderzoeksresultaten. Er zijn drie hoofdlijnen voor de R&D programma's van het MMC:

1. onderhoudstechnologie voor energiecentrales;
2. microfabricagetechnologie;
3. micromachinetechnologie voor medische applicaties.

AIST

AIST functioneert sinds 2001 als een onafhankelijke onderzoeksinstelling en wordt hoofdzakelijk gefinancierd door METI. Het is de grootste R&D organisatie van Japan en is vergelijkbaar met TNO in Nederland. Over heel Japan verspreid heeft AIST meer dan 60 research units met ruim 3.000 onderzoekers, verdeeld over 15 onafhankelijk opererende onderzoeksinstituten. Bij een aantal van deze AIST instituten lopen R&D projecten op het gebied van NMT. Het Nanotechnology Research Institute (26) en het kleinere Research Center of Advanced Carbon Materials (27) beide van AIST hebben een uitgebreide website met een overzicht van een scala aan recente onderzoeksprojecten. Het laatste instituut wordt geleid door de in de inleiding genoemde Sumio Iijima, de ontdekker van de koolstof nanobuisjes. Om het commercialiseren van o.a. NMT technologie te bevorderen heeft AIST het Innovation Centre for Start-ups (ICS) opgestart. Het ICS heeft in eerste instantie

van METI een budget van €50 miljoen voor vijf jaar ontvangen. De nanotechnologie onderzoeksprojecten worden momenteel bij de instituten van AIST uitgevoerd. TWA Tokio heeft gedetailleerde informatie over deze projecten beschikbaar en kan op verzoek introducties bij de AIST instituten in kwestie verzorgen.

Internationale positie van Japan op het gebied van nanotechnologie

De Japanse industrie, gesteund door de overheid, hoopt dus met fundamenteel en toegepast nanotechnologieonderzoek de buitenlandse concurrentie op bepaalde gebieden, zoals nanomaterialen, nanosystemen en nanobiotechnologie, voor te blijven (28). Japan ziet nanotechnologie als een sleutel tot herstel van zijn kwakkelende economie. Op het gebied van andere doorbraaktechnologieën zoals IT en life sciences loopt Japan, zoals eerder vermeld, nog achter op de Verenigde Staten en Europa. Japan is echter vastberaden om zijn voorsprong te behouden in die industrieën waar het traditioneel al een sterke positie heeft en waar nanotechnologie een grote rol zal gaan spelen. Dit is met name het geval in de elektronica, materialen en fijnchemie. Hiervoor zijn grote inspanningen nodig, want in Japan beseft men dat Europa en de Verenigde Staten niet stilzitten. Zuid-Korea en Taiwan hebben al aangetoond dat ze op nanotechnologiegebied sterke ambities hebben. Gelet op de R&D uitgaven voor nanotechnologie per hoofd van de bevolking loopt Japan echter duidelijk voorop. Volgens schattingen van analisten hebben naast de overheid ook grote bedrijven zoals Hitachi (29), Fujitsu (30), Mitsubishi (31), NEC (32), Mitsui (33) en Toray Industries (34) sinds 2000 al €2 miljard in nanotechnologie gerelateerde projecten geïnvesteerd.

De nano-kennisinfrastructuur in Japan

De infrastructuur voor onderzoek op het gebied van nanotechnologie is in Japan de afgelopen jaren sterk verbreed. Japan investeert in een groot aantal nationale nanotechnologieprojecten, die voornamelijk gericht zijn op het materialen- en halfgeleideronderzoek. Het NIMS heeft een nieuw ontwikkelingscentrum geopend, genaamd 'Nanomaterials Laboratory' (NML). AIST en NIMS hebben dit jaar de handen ineengeslagen en zijn gestart met de uitwisseling van onderzoekers en informatie. Het RIKEN instituut heeft de laatste jaren een additioneel budget van €20 miljoen van de overheid ontvangen voor de oprichting van zijn 'Nanostructure Analysis Laboratory'. In de afgelopen jaren heeft een aantal universiteiten in Japan speciale faciliteiten gekregen voor onderzoek op nanoschaal (tabel 4). De Waseda universiteit (35) in Tokio, één van de meest prestigieuze universiteiten in Japan, heeft in 2002 de Center of Excellence status in nanowetenschap verworven, waarmee ze zich heeft verzekerd van extra overheidssteun van €10 miljoen voor de komende vijf jaar. Deze extra financiële middelen worden ingezet voor de oprichting en uitbreiding van een nieuw Nanotechnologie Research Center, bestaande uit een laboratorium van

1.500 vierkante meter, inclusief clean room faciliteiten. Het is de bedoeling dat er rond dit onderzoekscentrum samenwerkingsverbanden gaan ontstaan met de private sector, andere universiteiten en onderzoeksinstituten. Doel is om de volgende generatie nano- en biotechnologie devices te ontwikkelen. Een ander voorbeeld van een universiteit met speciale nanotechnologiefaciliteiten is Kyoto University (36). Zij zijn vorig jaar een samenwerkingsverband aangegaan met de bedrijven Rohm and Haas (37), Matsushita (38), Hitachi en Mitsubishi Chemicals. Deze samenwerking is gericht op de ontwikkeling van nanomaterialen en systemen. Ook in Kyoto is het de bedoeling dat de partners gebruik gaan maken van de beschikbare faciliteiten op de universiteit, ondergebracht in het International Innovation Center. De partnerbedrijven hebben hier ook toegang tot de kennis die aanwezig is op andere afdelingen van de Kyoto Universiteit. Dit zijn twee concrete voorbeelden van de trend in Japan die het gat tussen industrie en academisch onderzoek moet gaan verkleinen. Naast alle nieuwe faciliteiten op de diverse instituten is de Earth Simulator van het Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC, 39) in Yokohama een speciale vermelding waard. Deze snelste supercomputer ter wereld (met een reken capaciteit van 35 triljoen berekeningen per seconde) is dit jaar in gebruik genomen en wordt ook ingezet bij het onderzoek op het gebied van brandstofcellen en bij andere nanotechnologie gerelateerde projecten. De Earth Simulator staat fysiek weliswaar bij JAMSTEC, maar deze NEC-supercomputer wordt intensief gebruikt door diverse andere instituten en bedrijven.



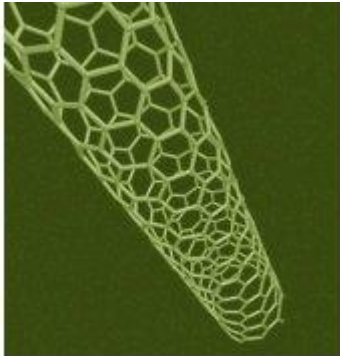
De samenwerking tussen academisch onderzoek en de industrie wordt recentelijk ook gestimuleerd door het bestaan van de 'Technology Licensing Organisations' (TLO's). Dit zijn organisaties behorende bij de universiteiten en onderzoeksinstituten, die de licenties van de instellingen beheren. Daarnaast is men in Japan op een aantal fronten actief om zogenaamde 'Intellectual Clusters' te vormen. Deze clusters trachten het proces van het commercialiseren van resultaten uit fundamenteel en toegepast onderzoek te versnellen door het promoten en begeleiden van start-up bedrijven. Regelingen voor onderzoekers aan de Japanse universiteiten zijn versoepeld, waardoor er meer mogelijkheden zijn om met eigen ideeën, onderzoek en geld een start-up te beginnen. De private sector in Japan heeft de potentie van nanotechnologie toepassingen in toekomstige producten vroegtijdig onderkend. Canon (40) zal tot 2005 €1,5 miljard uittrekken voor de oprichting van een viertal onderzoekscentra in Japan, waarbij onderzoek naar nanotechnologie één van de speerpunten is. De ontwikkelde technologieën zullen worden toegepast in nieuwe generaties halfgeleiders, brandstofcellen, flat-panel displays, inkt- en afdruksystemen. Onderzoek in 2002 van Keidanren en het Mitsubishi Research Institute (41) in samenwerking met Nikkei Business Publications

(42), heeft de groeiverwachtingen aangegeven voor verschillende nanotechnologiegebieden in Japan (tabel 5). Uit het onderzoek is gebleken dat explosieve groei wordt verwacht voor voornamelijk nano-electronica en nanomaterialen.



Om alle kansen van nanotechnologie te kunnen gaan benutten heeft een nieuw consortium van 300 ondernemingen, op initiatief van Hitachi, een voorstel gedaan om met de Japanse onderzoeksinstituten een nieuwe organisatie te vormen ter promotie van nanotechnologie en de toepassingen. De overheid zou al een toezegging hebben gedaan om dit initiatief vanaf 2004 te gaan subsidiëren en waar nodig de regelgeving aan te passen. Zoals bij de bovengenoemde 'Intellectual Clusters' zou de doelstelling van dit initiatief uitwisseling van onderzoekers en informatie zijn. Eén van de projecten zou zich richten op intensieve samenwerking in Japan voor de ontwikkeling van drug delivery systemen. De achterliggende gedachte van dit plan is dat door intensivering van nanotechnologie samenwerking de concurrentiepositie van Japan versterkt zal worden. Uiteraard zijn er naast de Japanse samenwerkingsinitiatieven ook genoeg voorbeelden van internationale samenwerking. Universiteiten en onderzoeksinstituten hebben bestaande relaties met partneruniversiteiten over de gehele wereld. Maar ook in de private sector wordt samen met buitenlandse partners kennis opgebouwd. Mitsui is een strategisch partnership aangegaan met het Amerikaanse Applied Nanotech (43) voor de ontwikkeling, fabricage en het vercommercialiseren van nanotechnologieën en nanoprodukten. De inbreng van Applied Nanotech in de samenwerking is de interessante portfolio van nanotechnologiepatenten en Mitsui zal de expertise inbrengen op het gebied van het toepassen, fabriceren en wereldwijd vermarkten van de producten en technologieën. Matsushita, bekend van de merken Panasonic, Technics en National, heeft een partnership gevormd met Nanosys (44) uit de Verenigde Staten, opgericht rond een aantal octrooien van de Harvard Universiteit, voor de ontwikkeling van hun 'nanocomposite organic solar cell'. De ontwikkelingen dienen te resulteren in de introductie van een nieuw type zonnecel met een kernlaagdikte van één micron, een honderdste van de siliconenlaag van huidige fotovoltaïsche (PV) zonnecellen. Beide bedrijven verwachten in 2007 met de verkoop van de nieuwe en veel goedkopere zonnecellen te kunnen starten. De bedrijven hopen ook in staat te zijn om een energieconversie-efficiëntie te bereiken van 20 procent, een grote stap voorwaarts ten opzichte van de 10 tot 15 % ratio voor de huidige PV zonnecellen. Carbon Nanotubes (CNTs) worden beschouwd als één van de speerpunten in nano-onderzoek in Japan. CNTs bestaan uit koolstofmoleculen en lijken een beetje op opgerold kippengaas. Hun afmeting is honderdduizend keer zo dun als een mensenhaar. De eerder in dit artikel genoemde

Japanse onderzoeker Dr. Sumio Iijima, werkzaam in één van de laboratoria van het Japanse elektronicaconcern NEC, heeft in 1991 de carbon nanotube (koolstof nanobuisjes ? figuur 3), ook wel afgekort met CNT, ontdekt. Het onderzoek van Dr. Iijima was destijds gebaseerd op eerdere opzienbarende resultaten van Dr. Richard E. Smalley, die met zijn ontdekking van fullereen, koolstof C60 (de Buckyball), zes jaar eerder de basis heeft gelegd voor één van de bouwstenen van de nanotechnologie: de carbon nanotube.



Figuur 3 - Een nanotube (koolstof nanobuisje)

Dr. Iijima is na ruim tien jaar nog steeds zeer actief in het CNT-onderzoek (zowel bij NEC als AIST), waarbij zijn aandacht nu uitgaat naar een ander soort koolstof die hij in 1998 heeft ontdekt; namelijk koolstof C70, de nanohorns (nanohoortjes). Net zoals de nanotubes zijn de nanohorns 100 keer sterker dan staal, maar daarnaast hebben de nanohorns de eigenschap dat je in de vorm van nanohornclusters elektroden kan vormen, die weer hun toepassing vinden in onder meer brandstofcellen. Naast wereldwijde inspanningen om met individuele nanotubes de 'ultieme chip' te gaan ontwikkelen op basis van moleculaire elektronica, is momenteel veel nanotube-onderzoek in Japan gericht op de productie van deze langgerekte koolstofmoleculen. De Universiteit van Osaka (45) en de firma Taiyo Toyo Sanso (46) zijn de trekkers binnen een groep van universiteiten en private ondernemingen die samen een methode hebben ontwikkeld om sneller CNTs te produceren in borstelachtige arrays. Met behulp van de nieuwe techniek kunnen nanotubes in grote bundels tot een lengte van 50 micron worden geproduceerd in slechts één enkele seconde. Tot voor kort duurde het aangroeiproces 10 minuten. De Osaka Universiteit heeft in samenwerking met de Kochi technische universiteit (47) een methode ontwikkeld om weer langere nanotubes te produceren tot een lengte van 100 micron met een dichtheid van 1 miljard nanotubes per vierkante centimeter. Met deze dichtheid kon men tot voor kort slechts tot buisjes van 2 micron komen. De nieuwe ontwikkelingen van dichte pakketten langere carbon nanotubes kunnen in grote hoeveelheden worden toegepast als elektrode in brandstofcellen, maar ook voor het opslaan van elektriciteit. De capaciteit van de borstelachtige arrays zou bij een dichtheid van 5 miljard CNTs per vierkante centimeter tot 25 maal hoger zijn

dan conventionele componenten van gelijke afmeting. Tevens kunnen de bundels worden ingezet als filters voor lucht en vloeistoffen. Het CNT onderzoek van de laatst genoemde universiteiten richt zich nu voornamelijk op het produceren van langere nanotubes.

Ook Fujitsu en NTT (48) zijn zeer actief op het gebied van nanotubeonderzoek. Zij richten zich momenteel op verbeterde productiemethoden om meer gecontroleerd nanobuisjes te kunnen opbouwen. Fujitsu is er recent in geslaagd om meer grip te krijgen op de diameter van de buisjes binnen de geproduceerde bundels met als doelstelling om de nanotubes te gaan toepassen als 'bedrading' in multilayer chips. Fujitsu zou nu in staat zijn om nanotubes te produceren met een diameter van 3 tot 10 nm. Door de kleinere diameter kunnen nu ook hogere dichtheden worden bereikt. De weerstand in de bundels zou het niveau van het metaal koper hebben bereikt. Toch verwacht dit Japanse elektronicaconcern dat het nog vijf tot zes jaar zal gaan duren voordat deze technologie grootschalig in de industrie zal worden toegepast. Japanse electronicabedrijven, zoals NEC en Hitachi, proberen het voortouw te nemen in de ontwikkeling van de nanotube transistoren die weer aan de basis moeten gaan staan van de ontwikkeling van een superchip die geen last heeft van oververhitting. Toyota (49) richt zich weer op een andere toepassing van de nanotube. Samen met de Nagoya universiteit (50) onderzoekt Toyota Motor Corp. de mogelijkheid van het vlechten van nanotubes tot lange slierten voor de opslag van waterstof voor brandstofcellen in voertuigen. De firma Frontier Carbon (51), voor 50% onderdeel aan Mitsubishi Chemicals, heeft zich gespecialiseerd in het produceren van C60 en C70 koolstof. Sinds juli 2003 wordt er in de fabriek in Fukuoka fullereen geproduceerd. De fabriek heeft een capaciteit van 40 ton geraffineerd fullereen per jaar en men verwacht dat de verkoopprijs van C60 fullereen rond de €4 per gram zal komen te liggen. Daarmee zou de tot voor kort gangbare marktprijs gedecimeerd worden. Voorlopig geldt slechts een halvering van de prijs en dient er nog €20 per gram C60 betaald te worden. De verwachting van Frontier Carbon is dat in 2005 de productiecapaciteit zal groeien tot 300 ton op jaarbasis. De eerste leveringen aan klanten in de Verenigde Staten en Europa hebben reeds plaatsgevonden. Frontier Carbon heeft deze zomer met de Kyoto universiteit een licentie-overeenkomst getekend betreffende een nog niet gepubliceerd patent op 'activated carbon filtration', een tien maal snellere methode om CNTs te kunnen separeren.