

Nauwkeurig positioneren met piëzo-ele- elementen

Beknpte weergave van de voordracht van prof.dr.ir.H.F. van Beek ter gelegenheid van het NVPT-jubileumcongres

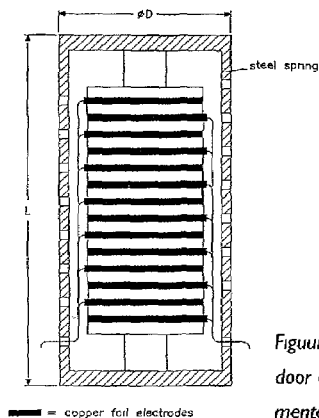
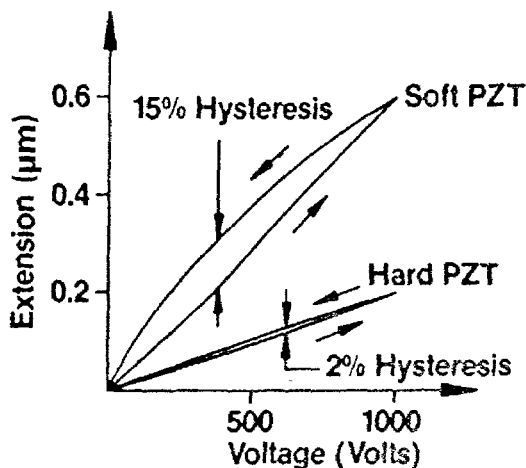
Frans Zuurveen *Nauwkeurig positioneren is nodig in allerlei vakgebieden: IC-fabricage, oppervlakte-onderzoek en materiaalonderzoek. In dat laatste gebied past men scanning- en transmissie-elektronenmicroscopen toe, van Nederlands fabrikaat! Het gaat hier om tweedimensionaal positioneren, maar in de toekomst zal er bij DNA-onderzoek en -bewerking wellicht driedimensionaal gepositioneerd moeten worden*

Van Nederlands fabrikaat zijn ook de zgn wafersteppers die bij ASML worden gemaakt voor de IC-fabricage. De resolutie van de positioneermechanismen in zulke machines ter waarde van dertig miljoen dollar bedraagt in de niet al te verre toekomst maar liefst 30 nm. We mogen er best trots op zijn dat 30 % van alle chips ter wereld met die machines uit Veldhoven wordt gemaakt.

vereenzelvigd met nanometertechnologie. Als we erin zouden slagen een geheugenbit op te bergen in 10 nm^2 , zouden we 12 Gigabyte kwijt kunnen op één mm^2 . Dat is dan nog tweedimensionaal, maar als we driedimensionaal gaan denken op atomaar niveau, dan kunnen we ons langzamerhand voorstellen waarom hersencellen en DNA-strengen zo'n gigantische geheugencapaciteit hebben.

Bij positioneermechanismen gaat het om lagere - met kogel- en glijlagers, pneumatische, hydraulische of magnetische lagers - om aandrijven - elektromagnetisch, hydraulisch, pneumatisch of piezo-elektrisch - en om meten van posities - met laserbundels, met wervelstromen of met capacitieve sensoren. Als we bij het positioneren moeten voldoen aan zeer hoge resoluties in het nanometergebied, krijgen we te maken met vervelende, ongewenste effecten: drift en kruip. Ook de omgeving beïnvloedt het resultaat via temperatuurverschillen, vocht en trillingen. Bovendien gaan contacteffecten tussen oppervlakken een rol spelen. In het bijzonder gaat het in deze presentatie over piezo-elektrische aandrijfelementen. Ze hebben een aantal goede en minder goede eigenschappen. Ze zijn klein en snel, ontwikkelen geen warmte en wekken geen magnetisch veld op. Maar de slag is heel beperkt en ze hebben last van hysteresis. Hun werking berust op het verschijnsel dat ze onder invloed van een elektrisch veld een verplaatsing leveren en andersom. Als we werken met multikristallijn materiaal - en dat is meestal het geval - moeten de afzonderlijke kristallen worden gericht; het materiaal moet worden gepolariseerd. Typische waarden voor multikristallijn keramisch materiaal zijn een verplaatsing van - slechts - $0,6 \mu\text{m}$ bij 1000 V , maar helaas met 15 % hysteresis, zie figuur 1. Gelukkig zijn er trucs om daar toch iets bruikbaar mee te bereiken. Bij voorbeeld door een aantal elementen in serie te schakelen, waardoor de ver-

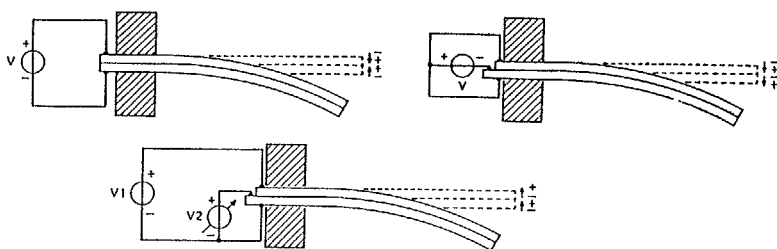
Figuur 1
Karakteristieken van twee typen keramische multikristallijne piezo-elektrische materialen. De verlenging bij 1000 V is slechts $0,6 \mu\text{m}$.



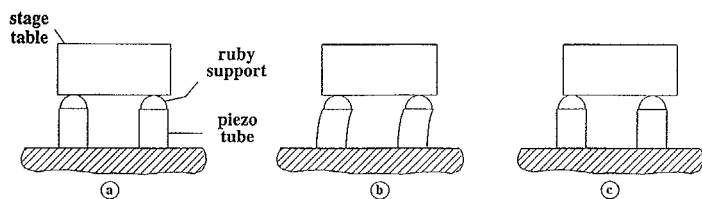
Maar wat bedoelen we precies met klein? Een TV-scherm bevat een kwart miljoen pixels en die zijn van de orde van grootte van een mm^2 . Maar we praten makkelijk over een mm^2 en daarvan gaan er dus een miljoen in een mm^2 . Vandaag de dag wordt precisietechnologie nog wel eens

Figuur 2. Een stapeling van piezo-elektrische elementen, waardoor een grotere verplaatsing wordt verkregen. De piezo-elementen zijn om-en-om (parallel) aangesloten.

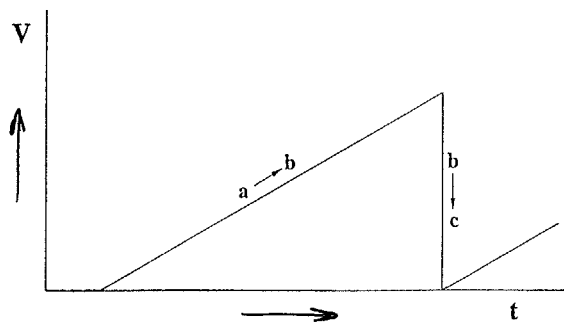
Nauwkeurig positioneren met piezo-elektrische elementen



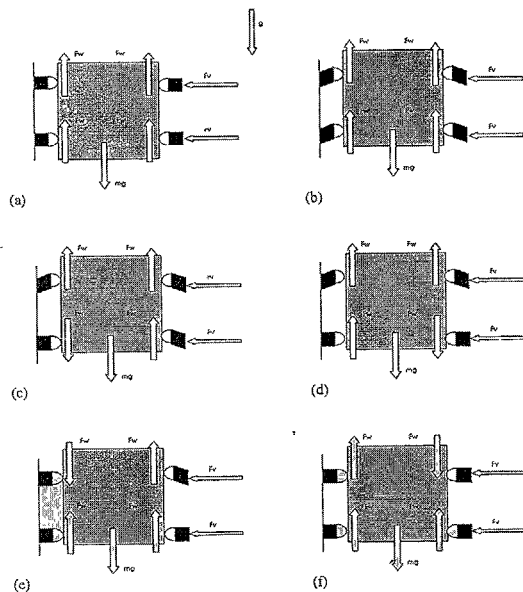
Figuur 3 Bimorfe buigingselementen. Dit type element geeft een grotere verplaatsing dan een stapeling van elementen



Figuur 4 Principe van het ISM-mechanisme Inertial Sliding Motion De beweging van a naar b verloopt relatief langzaam; bij een snelle verandering van de spanning (b naar c) blijft de massa staan



plaatsingen van de elementen bij elkaar opgeteld kunnen worden, zie figuur 2. Ook kan men zgn. bimorfe elementen realiseren, die bestaan uit twee op elkaar gekitte lagen met verschillende polarisatie, zie figuur 3 Deze elementen maken door buiging een grote verplaatsing



Figuur 5 Een ander bewegingsprincipe: Frictional Stepping Motion (FSM) Het kan net als ISM zowel horizontaal als verticaal worden gebruikt.

mogelijk, helaas bij een geringere stijfheid

Er is gezocht naar een doelgroep om de kennis op het gebied van piezo-elektrische elementen doelgericht op te bouwen. Daartoe is er een samenwerking opgezet met de Faculteit der Technische Natuurkunde in Delft. Daarin is een groep Elektronenmicroscopie actief, onder leiding van prof dr ir P. Kruit, die samenwerkt met Philips Electron Optics in Eindhoven. Ir.H. van der Wulp heeft een promotieonderzoek op dit gebied gedaan. Het werk van hem en zijn studenten vindt U terug in deze voordracht

In een transmissie-elektronenmicroscopie moet het preparaat nauwkeurig worden gepositioneerd en gemanipuleerd. Voor een mechanisme daarvoor is tussen de poolshoenen van het microscopieobjectief bijzonder weinig ruimte. Philips heeft dat weliswaar op mechanische wijze heel fraai opgelost, maar in de toekomst is een elektrisch aangedreven positioneer-eenheid met nog betere eigenschappen nodig.

Het preparaat moet bewogen kunnen worden over een gebied van 0,5 à 3 mm in twee onderling loodrechte richtingen, met een positionele reproduceerbaarheid van hetst 1 nm. De drift moet kleiner zijn dan 100 pm/min (1 picometer = 10^{-12} m!). Bovendien eist men een trillingsamplitude van minder dan 20 pm. Het preparaat moet ook nog kunnen roteren over een hoek van 80° .

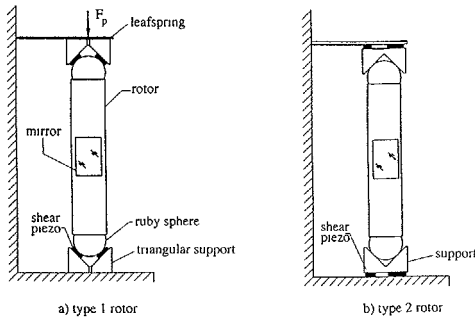
Er zijn een aantal stapmechanismen bedacht die het mogelijk maken met piezo-elementen een bijna onbegrensde slag te realiseren. Een daarvan is de lineaire piezo-actuator van het Centrum voor Fabricage Technieken van Philips (zie Mikroniek jaargang 33, nr. 6, FZ). Die actuator wordt ook gebruikt in het Steward-platform, dat vanmiddag in de lezing van A.J. Beltman aan de orde komt.

In Delft is voornamelijk gewerkt met het ISM-mechanisme als aandrijving voor de elektronenmicroscopie-preparaattafel. ISM staat voor Inertial Sliding Motion en figuur 4 geeft het principe weer. Het mechanisme maakt gebruik van massakrachten om de wrijvingskracht tussen de piezo-elektrische oplegelementen en het tafeltje te overwinnen, zo ongeveer als het verplaatsen van een theeopje over een tafel door langzaam, respectievelijk snel aan het tafeltje te trekken. De praktijk is behoorlijk veel ingewikkelder, en dat geldt ook voor de modelvorming in de computer.

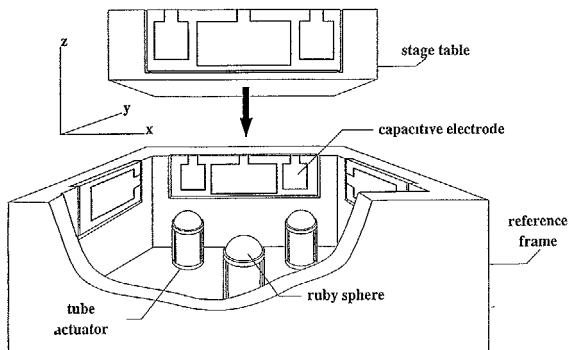
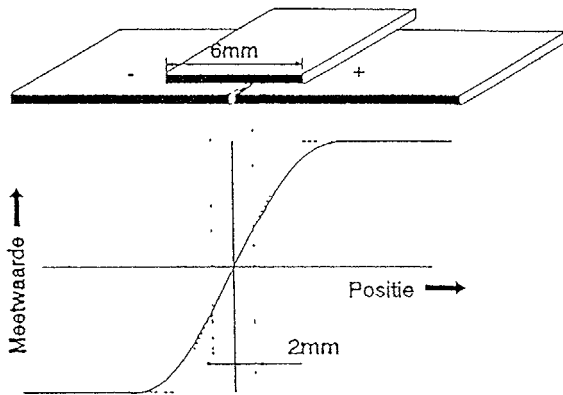
Er is ook nog een ander verplaatsingsmechanisme onderzocht, namelijk de Frictional Stepping Motion (FSM), zie

Nauwkeurig positioneren met piëzo-elektrische elementen

Figuur 6. ISM-mechanismen toegepast voor een roterende beweging met drie piezo-elektrische elementen onder hoeken van 120°

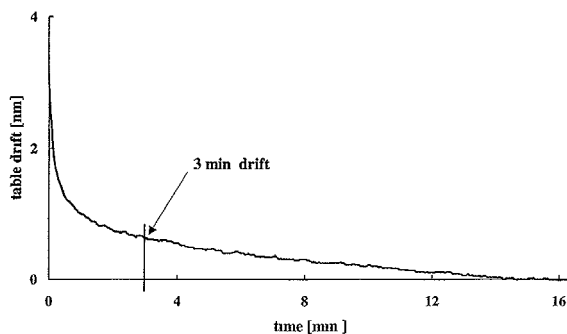


Figuur 7 Een capacitieve verplaatsingsmeter met over enkele millimeters een nagenoeg lineair uitgangssignaal.



Figuur 8 Proefopstelling van een positioneeretafel voor een transmissie-elektronenmicroscop, voorzien van robijnen kogels op piezo-elementen en met capacitieve verplaatsingsmeting.

Figuur 9 Resultaat van de meting van drift na een stap van 100 nm



figuur 5 Evenals het ISM-mechanisme kan dit systeem zowel horizontaal als verticaal worden gebruikt. Immers, ook in verticale richting is in een elektronenmicroscop een verplaatsing nodig, namelijk voor het focuseren van

het preparaat Een rotatie van het preparaat is met het ISM-mechanisme te realiseren door onder een kegelvormige lagerschaal een drietal piezo-elektrische elementen te monteren onder hoeken van 120° , zie figuur 6

Voor de verplaatsingsmeting is gekozen voor de capacitieve meetmethode Daarbij worden condensatorplaten naar elkaar toe of evenwijdig aan elkaar bewogen De verplaatsing van de enkele plaat boven de beide condensatorplaten van figuur 7 levert een uitgangssignaal dat over een "groot" gebied van 2 mm lineair is

Figuur 8 laat de proefopstelling zien met piezo-elektrische oplegelementen met robijnen kogels en met elektroden voor de capacitieve verplaatsingsmeting. In de praktijk kan een dergelijk mechanisme worden ondergebracht tussen de poolschoenen van het objectief in een elektronenmicroscop Daarvoor is in verticale richting slechts 6,5 mm beschikbaar'

Bij verplaatsingen in het nanometergebied krijg je te maken met allerlei storende invloeden, bij voorbeeld die van waterlaagjes op de oppervlakken. Ook heb je last van kruip van lijmlagen, bij voorbeeld die tussen de robijnen en de piezo-elektrische elementen Dat uit zich in drift, zodanig dat er na een stap van 100 nm een langzame beweging in tegengestelde richting volgt, zie figuur 9 Dat is grotendeels opgelost door een truc in de besturing het aanleggen van een tegengesteld signaal, dat na een stap de resterende drift behoorlijk vermindert

Met een proefopstelling van een piezo-elektrisch aangedreven ISM-positioneeretafel zijn inmiddels bemoedigende resultaten bereikt. Bij translaties in x- en y-richting van 1 mm is een positie-reproduceerbaarheid van 5 nm gehaald Daarbij bedroeg de intrinsieke drift minder dan 50 pm per minuut en de trillingsamplitude was kleiner dan 30 pm

Het bovenstaande illustreert dat bij de sectie Microtechniek de expertise in huis is om nanometer-verplaatsingsmechanismen voor derden te bouwen, die voldoen aan zeer rigoureuze specificaties.

Van belang is dat wij in Nederland ons best doen om bij te blijven in een keiharde wereldwijde concurrentiestrijd. We kunnen er immers niet omheen dat er elders in de wereld op allerlei gebied veel gebeurt en daar zullen we in ons land op moeten inspelen