

Het gebruik van piëzomateriaal in een device in ontwikkeling

Doorgaans wordt bij het ontwikkelen van een nieuw device een standaardpiëzo gebruikt, die de leverancier zo van de plank heeft gehaald. De piëzo wordt dan niet bewerkt. In dit artikel wordt ingegaan op een niet-standaard situatie: de piëzo wordt niet gebruikt zoals die wordt geleverd, maar er wordt eerst nog het één en ander mee gedaan om hem geschikt te maken voor de toepassing in een inkjet-printkop. Aan de hand van een aantal voorbeelden zal worden uitgelegd dat er in de verschillende ontwikkelingsfasen van dit device nog de nodige eigen inspanning komt kijken. Ook zal duidelijk worden gemaakt dat hierbij de samenwerking met de leverancier erg belangrijk is; er is sprake van een soort co-development.

• Frans Blom¹ •

Inleiding

Ongemerkt voor de consument wordt een piëzo veel gebruikt in producten die je dagelijks gebruikt, zoals een elektronische aansteker, een luidspreker (in mobiele telefoons of speelgoed) en een horloge (in het quartz kristal). Ook zitten er piëzo's in meer geavanceerde apparaten zoals nauwkeurige translatietafels, ultrasoon reinigingsbaden of in dieselmotoren (brandstofinjectie).

Dit artikel behandelt een andere toepassing van een piëzo, namelijk als actuator in een inkjet-printkop en wel in de ontwikkelfase van dit device.

In de volgende paragrafen komen aan bod de opbouw en werking van de piëzo inkjet-printkop, de rol van de piëzo in de actuatorunit hierin en hoe zo'n actuatorunit gerealiseerd kan worden. Daarna komt de strijd voor een defectvrij device aan de orde met voorbeelden van wat er allemaal mis kan gaan, hoe je dit kunt onderzoeken en wat voor oplossingen voor deze problemen zijn gevonden. En passant komt zo een aantal standaard meet- en analysemethoden aan bod om een dergelijk complex device te kunnen karakteriseren.

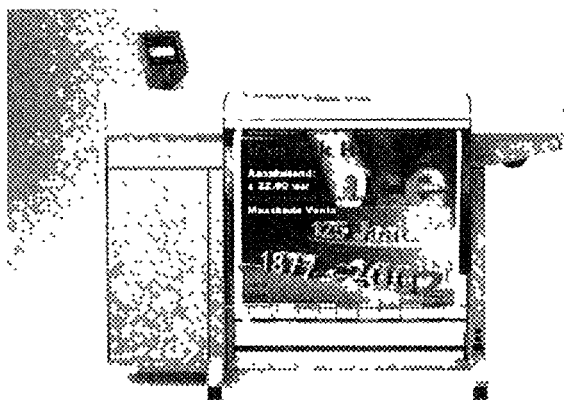
¹ Analysis & Measurements, R&D, Océ Technologies B V
Postbus 101, 7500 MA Venlo, frb@oce.nl

De toepassing

Momenteel wordt bij Océ een inkjet-printkop op basis van piëzo-actuatie ontwikkeld. Deze kan bijvoorbeeld gebruikt worden in een breedformaat kleurenprinter, die in de voor Océ bekende professionele markten zal worden ingezet. Een voorbeeld van een dergelijke printer staat in afbeelding 1.

De globale opbouw van de inkjet-printkop is geschetst in afbeelding 2. De printkop bestaat uit een kanalenblok waarin inktkanalen zijn gerealiseerd, aan één zijde wordt deze afgesloten door een nozzleplaat; hierin zitten de kleine gaatjes waaruit de druppels worden verspoten. Aan een andere zijde, de onderzijde in de tekening, worden de kanalen afgesloten door een dunne kunststof folie. Onder deze folie bevindt zich de actuatorunit; elk kanaal heeft een eigen piëzo-element dat voor de drukopbouw in het kanaal zorgt. Deze werking is ook nog eens weergegeven in afbeelding 3, waarin een lengtedoorsnede door de printkop is geschetst. De inkt komt aan de linkerkant via een filter in het kanaal. Een puls op de piëzo laat deze uitzetten waardoor er overdruk in het kanaal ontstaat en er een druppel uit de nozzle wordt geperst. Dit hele functioneringsproces is modelmatig in kaart gebracht. Hierbij zijn zowel analytische als eindige elementen methodes gebruikt [1].

Een actuatorunit bestaat uit een substraat en een opgedeelde meerlaags piëzo; de totale unit heeft een grootte van $50 \times 10 \times 2 \text{ mm}^3$ en heeft een honderdtal individuele piëzo-elementen. Van elk piëzo element met een karakteristieke breedte van zo'n 0.1 mm wordt verwacht dat het tenminste 5 miljard verplaatsingen kan leveren. In afbeelding 4 is schematisch weergegeven hoe deze spanning via een common en signaalelektrode en een sporenpatroon op het substraat op de individuele elementen kan worden aangebracht.



Afbeelding 1. De TCS400 breedformaat kleuren inkjet-printer

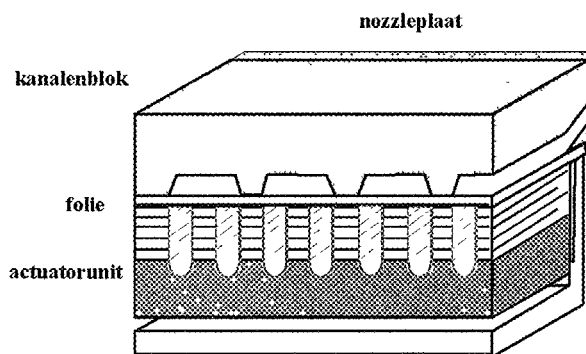
Realisatie van de actuatorunit

In afbeelding 5 staat weergegeven hoe de actuatorunit wordt gerealiseerd. Er wordt begonnen met de twee onderdelen: het substraat en de meerlaags actuator. Het substraat is een stuk keramiek waarop middels een lithografieproces een metaalsporenpatroon is aangebracht. Ook de meerlaags actuator is voorzien van een buitenelektrode die 'het hoekje omloopt'. In een lijmp proces worden deze twee onderdelen zodanig verbonden dat de elektrodes contact met elkaar maken. Vervolgens wordt met een zogenaamde waferdicer de individuele elementen gezaagd; hierbij wordt tot in het substraat gezaagd: de meerlaags actuator is dan helemaal door en elk piëzo-element heeft een eigen aanstuurspoor. In afbeelding 6 staat een microscoopopname weergegeven van een lengtedoorsnede van het dan ontstane device, de actuatorunit.

Een voordeel van deze realisatieroute is dat de twee onderdelen als apart kunnen worden gecontroleerd en ingekocht. Dit geeft ook de mogelijkheid onderdelen van verschillende leveranciers naast elkaar te testen en onderling te vergelijken zonder dat het device als zodanig gewijzigd hoeft te worden. Op deze manier zijn materialen van verschillende piëzoleveranciers getest.

Deze leveranciers verschillen nogal waarbij de volgende aspecten onderscheiden kunnen worden:

- functionele eigenschappen, zoals materiaalparameters als de piëzoconstante d_{33} (maat voor de hoeveelheid uitwijking bij een zekere spanning) en de diëlektrische constante ?;
- procestechische aspecten zoals elektrodespacing en elektrodemateriaal;
- mechanische afwerking: maatvoering, vlakheid, (breuk)sterkte;



Afbeelding 2. Schematische opbouw van de piezo inkjet-printkop in ontwikkeling

- bedrijfskundige aspecten: welke markten kent de leverancier en wat voor soort klanten heeft hij. Een leverancier voor de massamarkt geeft over het algemeen weinig mogelijkheid om in te grijpen in zijn productieproces. Dit is over het algemeen nadelig in een situatie waar co-development wordt nagestreefd.

Defectproblematiek

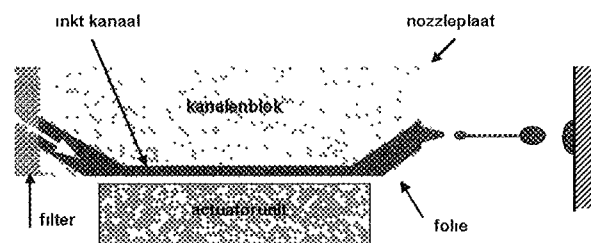
De rest van dit verhaal gaat voornamelijk over het gevecht om defectvrije devices te maken. Normaalgesproken wordt een (meerlaags) piëzo gebruikt in de vorm zoals die van de leverancier wordt afgenomen. Voor ons is dit echter niet voldoende; wij gaan het materiaal vervolgens nog bewerken tot op een schaalgrootte van 100µm. In het vervolg wordt een aantal meetmethoden beschreven om kwaliteit te meten aan dergelijke structuren en er volgen voorbeelden van defecten die zijn waargenomen in onze actuatorunits en oplossingen die hiervoor geïmplementeerd zijn in het device of de processen.

Kwaliteitsmeting

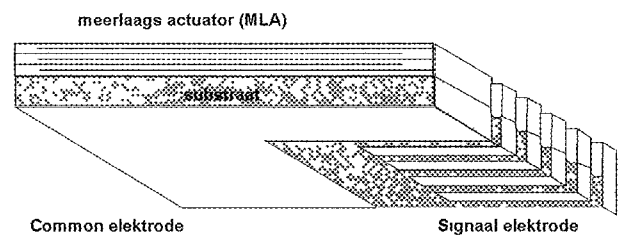
Een standaardmeting bij een piëzoleverancier is de zogenaamde impedantiemeting. Hierbij wordt de elektrische impedantie als functie van de frequentie bepaald. In afbeelding 7 staat een voorbeeld van zo'n impedantiespectrum voor een meerlaags actuatorplaat. Zo'n spectrum laat de koppeling zien tussen het mechanische en elektrische domein: de pieken en dalen in het spectrum komen overeen met mechanische resonanties van het systeem. In de figuur zijn verschillende trillingsmoden aangegeven. De piek van de lengtemode ligt dusdanig vrij en geïsoleerd dat deze via analytische methodes te parametriseren is [2]. Hiermee is het ingangsproduct op plaatniveau te karakteriseren, maar dit geeft helaas geen informatie over de defecten die bij het realiseren van de actuatorunit kunnen ontstaan.

Een andere standaardmeting is het bepalen van de capaciteit van de actuatorunit; het resultaat van een dergelijke meting is weergegeven in afbeelding 8. In deze figuur staat de capaciteit van elk element uit de unit. Nominaal mochten alle elementen dezelfde capaciteit hebben, maar in deze figuur is te zien dat een veelheid van afwijkingen optreedt. De capaciteit vertoont een tweetal golvingen, de lange, laagfrequente wordt onder andere veroorzaakt door een variatie in de spacing tussen de elektrodes in de meerlaags actuator. Er is ook een kortgolvlige variatie (niet goed zichtbaar in deze grafiek), deze is te herleiden tot de (on)nauwkeurigheid in het zaagproces.

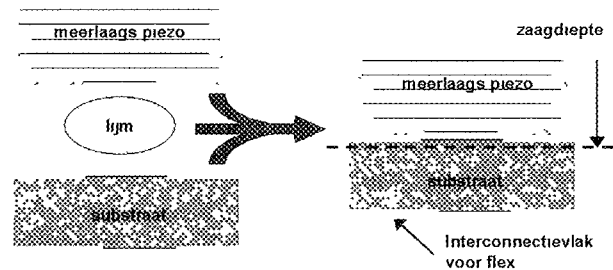
Daarnaast is een aantal discrete afwijkingen zichtbaar. Links in de grafiek zit een kortsluiting tussen twee elemen-



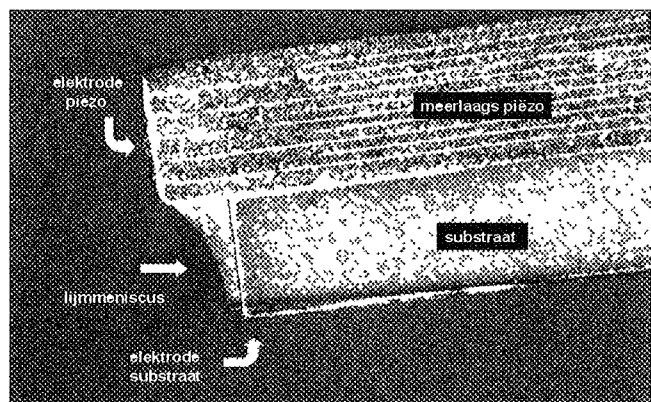
Afbeelding 3. Lengtedoorsnede van de piezo inkjet-printkop



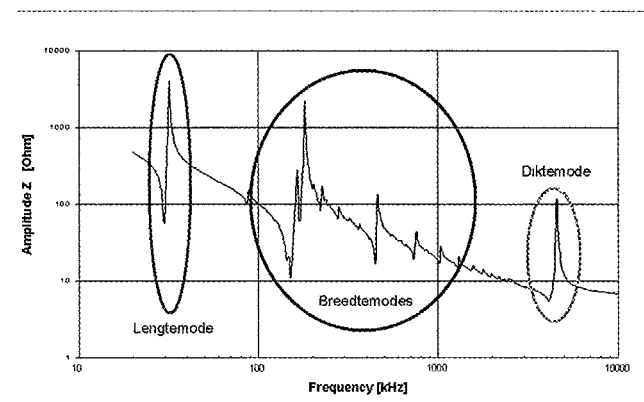
Afbeelding 4. Schematische 3D weergave van (een deel van) de actuatorunit



Afbeelding 5. Schematische voorstelling van het realisatieproces van een actuatorunit



Afbeelding 6. Lengtedoorsnede door een actuatorunit



Afbeelding 7 Voorbeeld van een impedantiespectrum aan een meerlaags actuator (plaat)

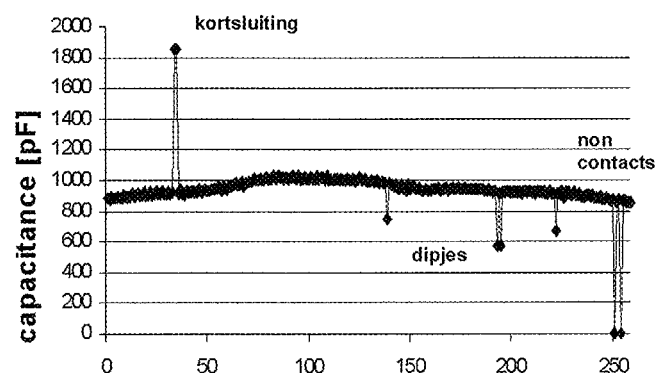
ten, zodat de dubbele capaciteit wordt gemeten. Helemaal rechts zit een zogenaamde 'non contact'; een onderbreking in de elektrode naar de piëzo toe. Tenslotte zijn er defecten die dipjes worden genoemd; deze hebben een lagere capaciteit en duiden op een defect waarbij niet alle lagen van het element volledig bijdragen aan de capaciteit. Hoe dit mogelijk is, zal worden getoond aan de hand van een aantal voorbeelden.

Defecten op elementniveau

In afbeelding 9 staat uitvergroot een kops aanzicht van de voorzijde van de actuatorunit: er staat een drietal elementen in beeld. Bij de middelste hiervan is de binnenelektrode in de meerlaags piëzo goed zichtbaar, hetgeen betekent dat hier de buitenelektrode ontbreekt. Daardoor zullen de twee aangrenzende lagen piëzomateriaal niet aangestuurd worden en wordt een lagere capaciteit gemeten. Een dergelijk defect kan worden veroorzaakt doordat de lijmmeniscus afbreekt en hierbij de buitenelektrode meetrekt.

Een minder gemakkelijk te detecteren defect is weergegeven in afbeelding 10. Hier zit de onderbreking op het hoekje van de meerlaags actuator. Hierdoor bereikt het signaal het piëzo-element niet en wordt een 'non-contact' gemeten. Dit defect kan ontstaan doordat na de mechanische nabehandeling van de meerlaags piëzoplaat cracks in het oppervlak ontstaan die er voor zorgen dat na het aanbrengen van de elektrode alsnog een brokje keramiek uitbreekt.

Om dit defect zichtbaar te maken, wordt gebruik gemaakt van micro-galvanie. Het element met het defect wordt



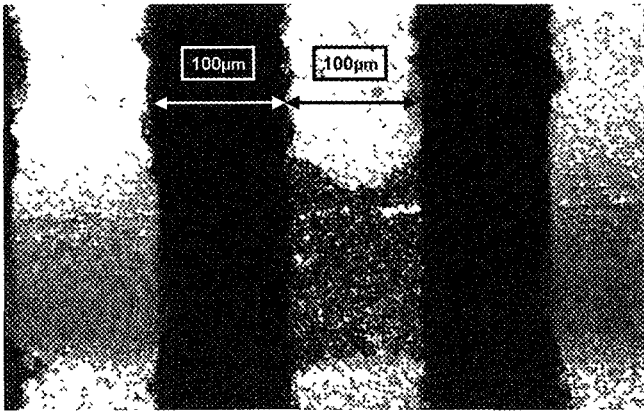
Afbeelding 8 Voorbeeld van een capaciteitsmeting aan een actuatorunit met enkele typische defecten

geïsoleerd en in een galvanisch goudbad gestopt. Door nu spanning op de sporen te zetten, zal alleen daar goud aangroeien waar de spanning ook aankomt. Op deze manier ontstaat contrast tussen de goede, gouden stukken en de defecte, zilveren. Helaas is dit niet zichtbaar op de zwart-wit foto. Op dezelfde manier is ook het volgende defect zichtbaar te maken, zie afbeelding 11.

Hier betreft het een interconnectiefout tussen binnen- en buitenelektrode in de meerlaags actuator die ontstaat doordat de binnenelektrode niet ver genoeg doorloopt in de piëzo. Een defect dat ontstaat in het zeefdrukproces van de binnenelektrode is weergegeven in afbeelding 12. Zo'n onderbreking kan ontstaan wanneer bijvoorbeeld de zeefdrukmal vuil of beschadigd is. Achtergebleven vuil wordt bij het sinteren weggebrand en laat dan een gat achter.

Een defectenbron waar lang naar is gezocht, is weergegeven in afbeelding 13; het betreft kleine gaatjes in de binnenelektrode. Om dit zichtbaar te maken wordt het piëzo-element gespleten waarbij de meerlaags structuur preferent delamineert op de overgang tussen keramiek en binnenelektrode. In afbeelding 13 links kijken we bovenop de binnenelektrode en zijn de gaatjes mooi zichtbaar. Rechts is een vergroting weergegeven, gemaakt met de SEM, duidelijk zijn door de gaatjes in de elektrode heen de keramiekkorrels van de piëzo zichtbaar. Zelfs de afdruk van de keramiekkorrels die aan de andere kant van de elektrode hebben gezeten is zichtbaar in de elektrode.

Natuurlijk is een enkel gaatje van deze grootte geen probleem, maar als het er meer worden kan een keten ontstaan waardoor de elektrode geheel wordt onderbroken.



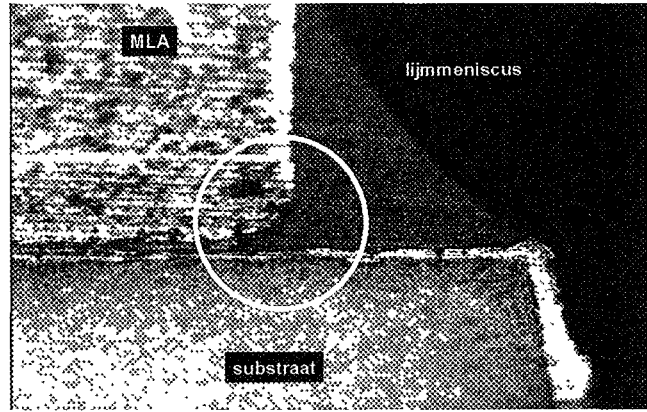
Afbeelding 9. Defect aan de kopse zijde van het piezo-element. onderbreking in de buitenelektrode

Naast al deze soms wat lastiger te ontdekken defecten zijn er ook defecten die veroorzaakt worden door fouten in het substraat en/of verkeerde handling of processen; deze zijn in een later stadium met een goede logistiek wel te ondervangen.

Oplossingen

In een situatie als deze waarbij een complex device wordt ontwikkeld, een actuatorunit, waarin al een complex onderdeel wordt gebruikt, een meerlaags actuator, is de interactie tussen de piëzoleverancier en device-ontwikkelaar van groot belang. In welke mate kan het productieproces opgerekt worden om bepaalde defecten weg te nemen of de kans erop te verminderen. En hoe kan het device aangepast worden, zodat het niet of minder gevoelig wordt voor het optreden van deze defecten. Daarnaast is het de taak van de device-ontwikkelaar om te blijven zoeken naar mogelijkheden om de specificaties van het device op te rekken. Bijvoorbeeld: welke vlakheid is nu werkelijk nodig om een goede functionaliteit of hoge procesyield te halen.

In deze co-development zijn de volgende oplossingen gevonden en toegepast. Bij de leverancier zijn de mechanische afwerking verbeterd, alsmede het aanbrengen van de elektrodes, de reinheid van werken, de procestooling en het zeefdrukproces voor de binnenelektrode. Veel van deze verbeteringen hebben ook geresulteerd in verbeteringen bij de productie van hun 'standaard' producten. Ook het device en de processen om de actuatorunit te realiseren zijn aangepakt. Zo is tegenwoordig het substraat groter dan de meerlaags piëzo zodat de lijmmeniscus beter wordt beschermd,



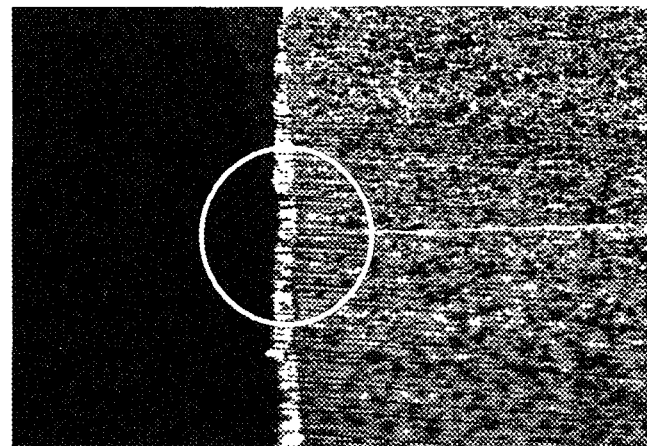
Afbeelding 10 Defect op het hoekje van een meerlaags actuator: onderbreking in de buitenelektrode

en het zaagproces is verbeterd (met name de stabiliteit van het proces).

Door deze aanpassingen is het gelukt defectvrije devices te realiseren.

Conclusies en vervolg

Een belangrijke conclusie uit dit verhaal is dat bij de ontwikkeling van een dergelijk complex device als een actuatorunit waarin een complex onderdeel als een meerlaags piëzo wordt gebruikt het van groot belang is dat er bij het ontwikkelteam kennis van zaken is over het functioneren en produceren van een piëzo. Dit is eigenlijk een noodzakelijke voorwaarde voor het kunnen uitvoeren van een co-development omdat een meerlaags piëzo niet echt een stan-



Afbeelding 11. Interconnectiefout tussen binnen- en buitenelektrode van de meerlaags actuator

daardproduct is.

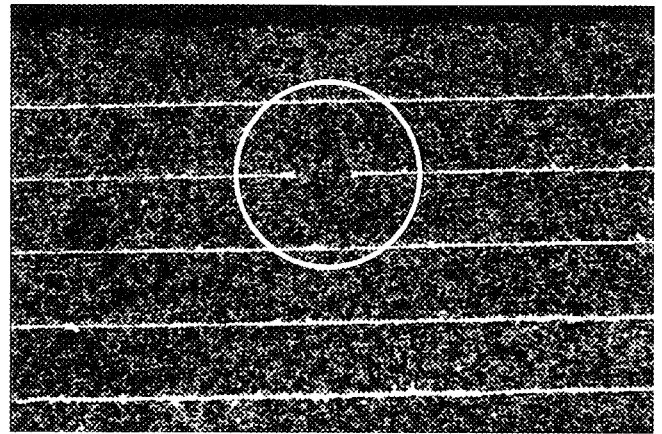
Ten tweede is er bij een dergelijk co-development van beide partijen de bereidheid nodig om aanpassingen te doen, enerzijds aan het productieproces, anderzijds aan het device in ontwikkeling.

Het vervolgtraject van deze device-ontwikkeling is het vaststellen en vastleggen van de functionaliteit van het device. Vragen die dan spelen zijn hoe goed moet een piëzo-element zijn, hoe kan dit worden gemeten en hoe kan er in het productieproces voor gezorgd worden dat dit proces stabiel blijft. Ook hier is weer die wederzijdse bereidheid nodig.

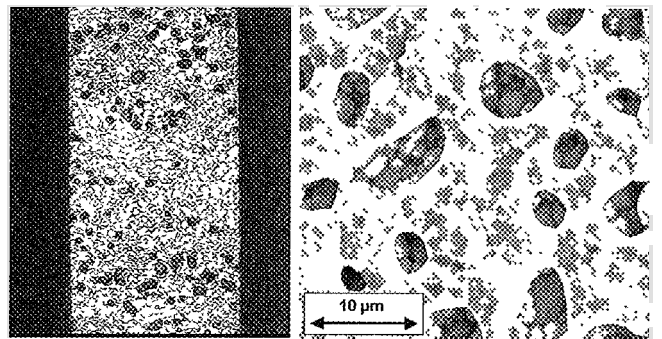
Tenslotte een afsluitend woord van dank aan de vele collega's die in grote mate hebben bijgedragen aan dit onderzoek; met name wil ik hier noemen Henk Stolk, Vincent Peters, Jack Bisschop en Ron Berghs. Daarnaast is er een woord van dank richting de piëzoleverancier PI Ceramic voor hun bereidheid te willen 'co-developpen' en aan de Nederlandse vertegenwoordiging hiervan, Applied Laser Technology, die in deze co-development veel hebben gestroomlijnd.

Literatuur

- [1] H. Wijshoff, Free surface flow and acousto-elastic interaction in piezo inkjet, Proceedings Modelling and Simulation of Microsystems, Nanotech 2004.
- [2] L.Saes, F.R Blom, Determination of material parameters of multilayer piezo using FEM, Proceedings Materialica 2001.



Afbeelding 12. Defect in de binnenelektrode als gevolg van het zeefdrukproces



Afbeelding 13 Optische (links) en SEM opname (rechts) van een gespleten piezo-element waarin de gaatjes in de binnenelektrode zitten