

Een klok doet geen “pok”

Johan Engelen
promovendus, Transducer Science and Technology

22 oktober 2009

Debakel, fiasco, mislukking. Het zijn dagelijkse bezigheden voor ons onderzoekers. Je kan er dus maar beter mee leren omgaan. Veel mensen hebben zich uitgesproken over hun tevredenheid met mislukkingen. Bijvoorbeeld Albert Einstein's "Anyone who has never made a mistake has never tried anything new." Robert Oppenheimer leert ons dat we er juist trots op moeten zijn, want "Any man whose errors take ten years to correct is quite a man." Je kan het ook te bont maken, dus opgepast. "Only a fool learns from his own mistakes. The wise man learns from the mistakes of others," aldus Otto von Bismarck. Het inzetten van studenten op kansarme ideeën lijkt dus een goede oplossing.

Maart 2009; het was tijd iets te verzinnen voor een B2 project binnen onze vakgroep TST. Het jaar ervoor was er een demonstratie kit gemaakt voor MEMS¹ combdrives. Het project was zo succesvol dat we dit jaar weer een project wilden doen waarin B2 studenten een MEMS chip kunnen ontwerpen die dan ook echt gemaakt wordt in de cleanroom. Maar wat dan precies. . . ?

Leon Abelmann kwam mijn kamer binnen; of ik een idee had voor het B2 project. Meteen zei ik dat ik altijd al een klokkenspel had willen maken in MEMS. Leon viel bij met ideeën voor een orkest en een wedstrijd voor studenten aan het conservatorium om een compositie te maken! Het toeval wil dat de MicroMechanics Europe conferentie, die in 1989 voor het eerst in Enschede werd gehouden, in 2010 terug zal keren en door onze vakgroep georganiseerd wordt in de Atak. Het droomscenario is natuurlijk dat er een stukje MEMS muziek gespeeld kan worden tijdens de opening!

B2-ers Jethro Beekman, Laurens Fortgens, Derk de Graaf en Sander Vocke zijn er mee aan de slag gegaan. Er moest meteen hard gewerkt worden, want het ontwerp voor de chips moest een paar dagen vóór het projectplan ingeleverd worden! Er waren een paar testchips beschikbaar (figuur 1), zodat er kleine testjes gedaan konden worden aan klokkenspellen en er geleerd kon worden van mijn fouten. Verschillende massa-veer systemen werden ontworpen, waaronder een paar micro klokken die aangeslagen worden door micro hamertjes en ook een paar exotische 'instrumenten' (figuur 2). Verschillende uitleesmethoden

¹Micro ElectroMechanisch Systeem

werden bedacht om de klanken te kunnen versterken; dat zou namelijk wel het lastigst gaan worden.

Toen begon de ellende. De productie van de chips in de cleanroom ging niet zo voorspoedig: het bleek lastig om bepaalde lagen van de chips af te halen, waardoor er allemaal stukjes op de chips achterbleven en de yield niet denderend was. Van de 4 silicium wafers was er ook nog eentje stuk gegaan, een nog lagere yield dus. De chips werden getest onder de microscoop, en, gelukkig, er zat beweging in. Maar veel klokken en hamers bleken na een tijdje vast te plakken aan de wafer waar ze boven zweven ('sticking'). Oorzaak onbekend. Misschien was de aarding niet goed genoeg en worden ze naar het oppervlak toe getrokken? Of zat er een waterfilmpje wat plakt? Of misschien een stofje dat onder de klok vast zat?

Toch met goede hoop gingen de B2-ers de chips 'wirebonden'² op een speciaal ontworpen PCB, om het orkest elektrisch aan te kunnen sturen en te kunnen versterken. Ook hier weer veel problemen: wirebond apparaat stuk, ander apparaat zoeken, wirebonds raken los, er komt te veel stof op de chips tijdens het wirebonden, nog een ander apparaat zoeken, etcetera. Slechts een paar keer is het gelukt een chip werkend te houden tijdens wirebonden en zo kon er dan toch eindelijk de eerste klank gemeten worden: een stuk of 10 oscillaties op het scherm van de oscilloscoop. Hulde! Het werkt! Maar... , hoe klinkt dat nou eigenlijk?

“... pok.”

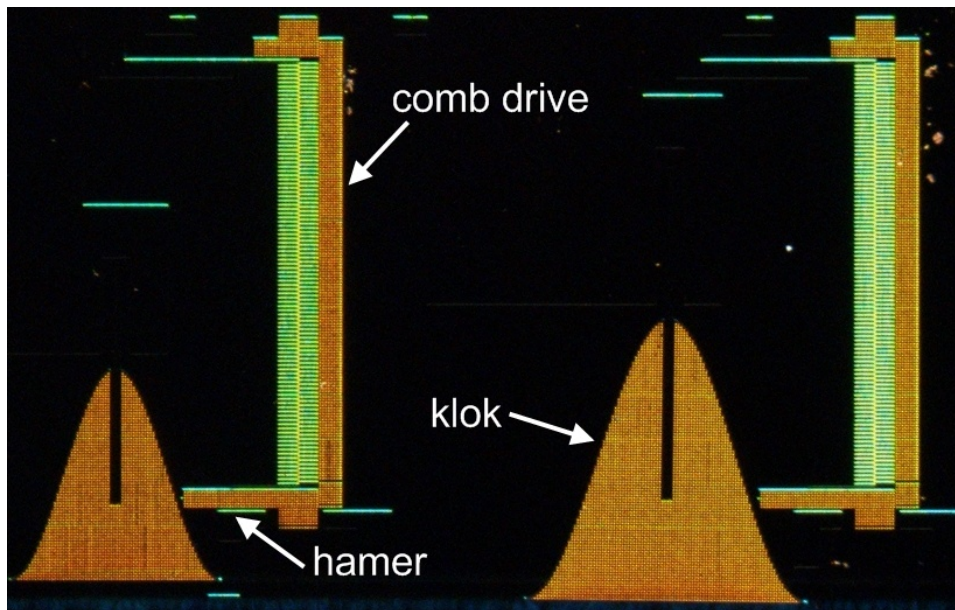
Een hele korte “pok” (figuur 3). Niet echt zoals een klokkenspel hoort te klinken.

Wacht eens even... $f = \sqrt{k/m}$, $Q = \sqrt{mk}/D$, dus als de massa kleiner wordt en de frequentie gelijk moet blijven... $k \propto m$... , oh ooh... Bij gelijk blijvende resonantie frequentie schaalde de Q-factor erg onvoordelig voor MEMS systemen; de dempingsconstante D daalt wel, maar dat is een oppervlakte effect en daalt daardoor minder snel dan de massa (volume). Het micro klokkenspel wordt veel meer gedempt dan een macro klokkenspel. Geen wonder dat de 'toon' zo kort duurt!

“Maar dan maken we toch gewoon 'even' een vacuümdoos? Weg met de luchtdemping!” De ambitieuze B2-ers begonnen meteen met het ontwerpen van een vacuümdoos en in no-time was het ding gemaakt; precies op maat, met elektrische doorvoer en een doorzichtige bovenkant zodat we de chipjes nog kunnen bekijken onder de microscoop (figuur 4). Het geluid kan dan natuurlijk niet meer gehoord worden, maar met behulp van een capacitieve sensor zouden we de trilling toch hoorbaar kunnen maken.

Helaas bleef het wirebonden een grote hindernis, en is er slechts een enkele chip succesvol getest in (laag) vacuüm. En ook die ging stuk voordat het vacuüm hoog genoeg was voor een langere klank: een teleurstellend resultaat van een toch heel succesvol B2-project. Er is veel goed gegaan. Hoogspanningsvoeding?

²Wirebonden is het vastmaken van kleine draadjes aan de chip, om elektrisch contact te maken met de structuren op de chip.



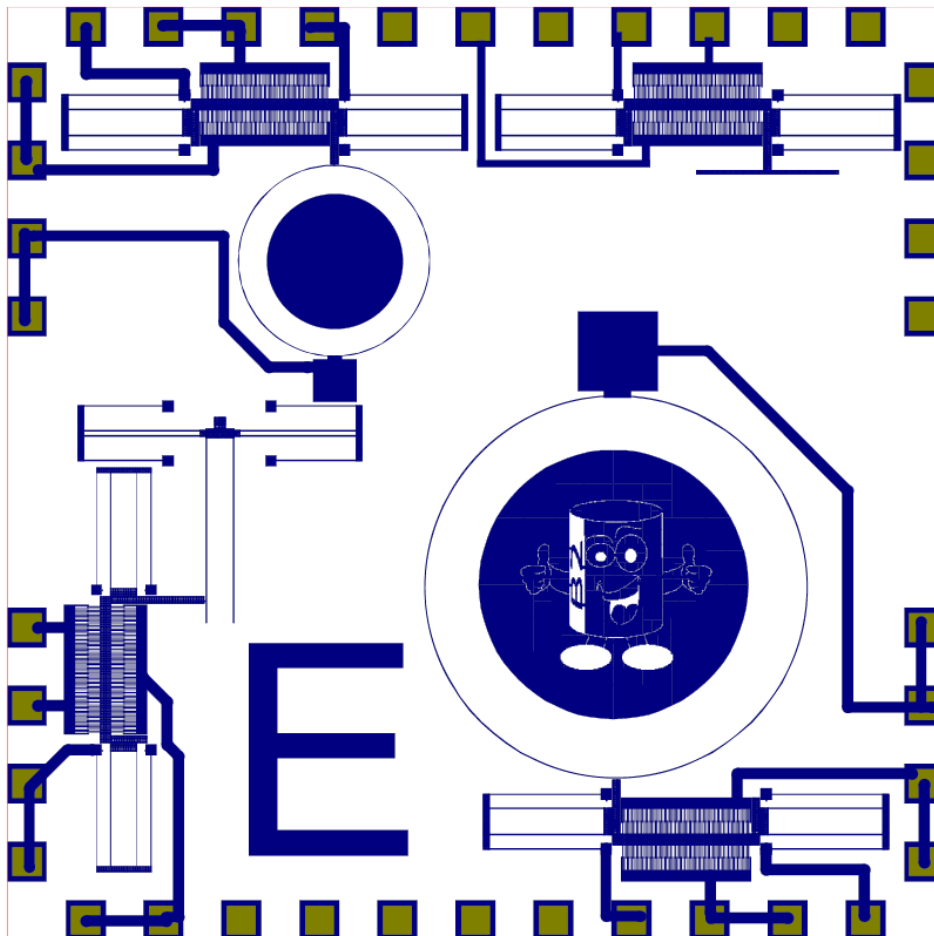
Figuur 1: De eerste testchip. Een closeup van 2 hamers en klokken met verschillende resonantie frequenties. De vingers van de combdrives zijn $3\ \mu\text{m}$ breed.

Check! Anstuurelektronica? Check! Vacuumdoos? Check! Uitleeselektronica? Check! Instrumenten? Het enige dat nog nodig is, is een chip waar klokken en hamers nog heel zijn, waarvan de klokken en hamers niet stikken, en die heel blijft tijdens het wirebonden. . .

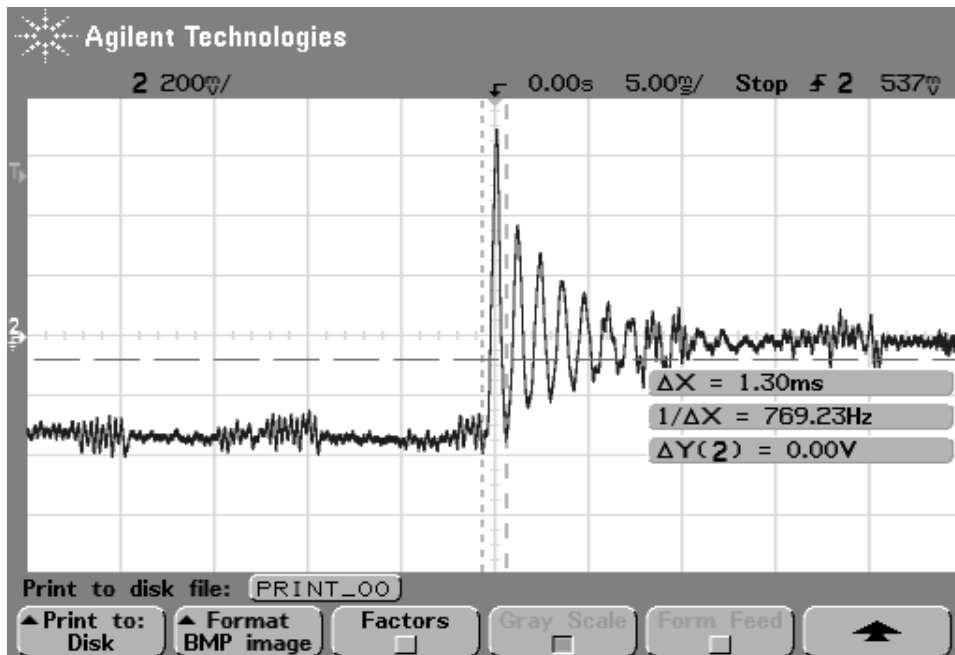
Aanvankelijk verwachtten niet veel mensen dat het de studenten ging lukken geluid te maken. "Het zal wel een debakel worden," dachten de meesten. Maar door het goede werk van de B2-ers is het toch bijna gelukt een klinkend micro klokkenspel te maken. Dankzij alle dingen die verkeerd gingen, hebben we veel geleerd.

De eerste goede MEMS klank moet nog gehoord worden, en we werken verder om het orkest af te maken. Auke Been en Geert Folkertsma, twee studenten Advanced Technology, hebben nieuwe chips ontworpen (figuur 5). Hopelijk lukt het met die chips om het klokkenspel binnenkort te laten klinken.

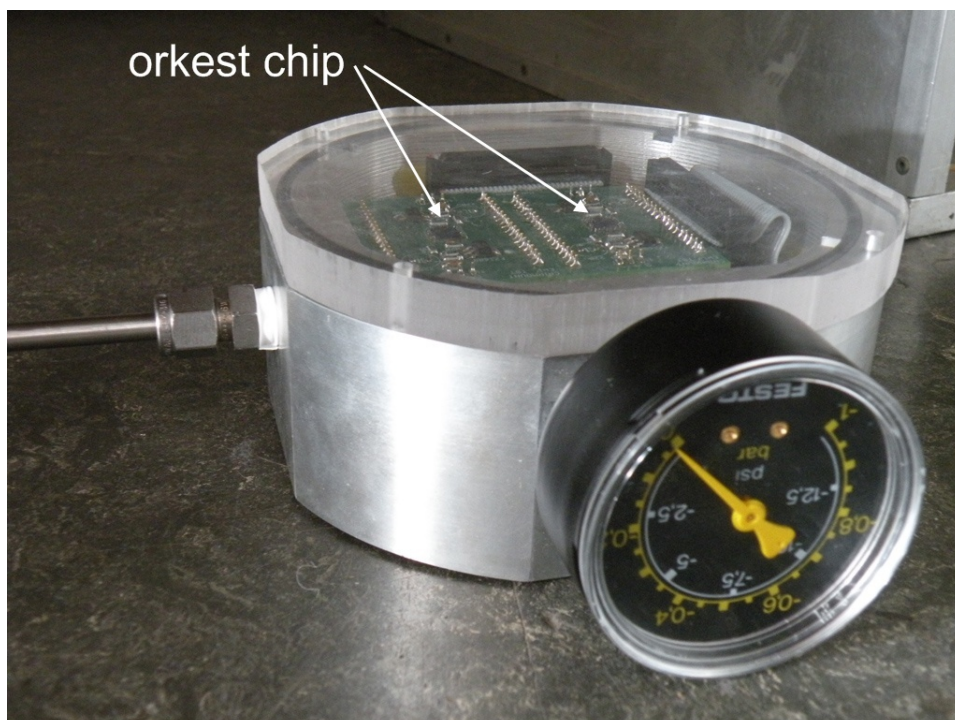
Het komende jaar is er natuurlijk weer een B2 project en gaan we weer de cleanroom in. . . Heb jij nog een goed idee voor het orkest of een ander leuk project? Laat het ons weten!



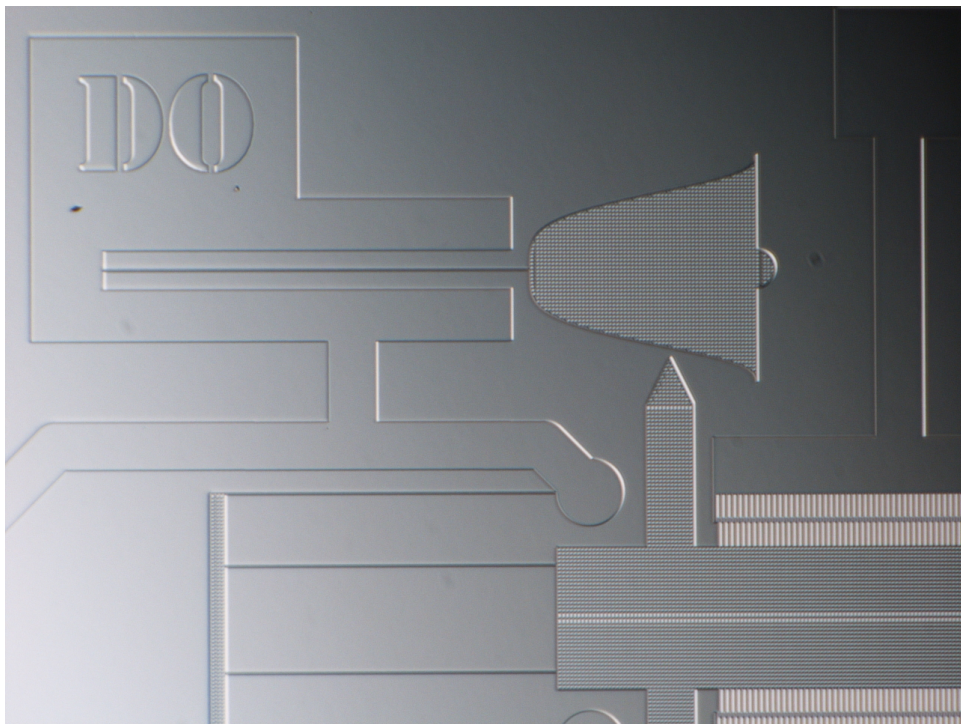
Figuur 2: Eén van de chipontwerpen (7×7 mm) met experimentele instrumenten op microschaal: een stemvork (links midden), 2 trillende ringen, en een luidspreker (rechtsboven).



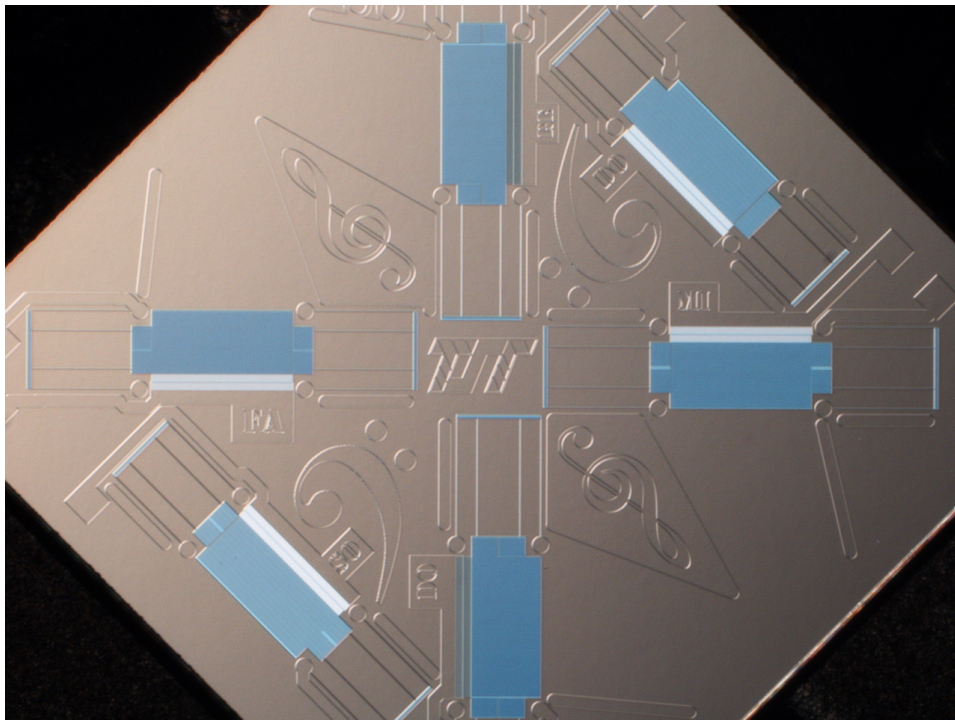
Figuur 3: "...pok."



Figuur 4: De op maat gemaakte vacuümdoos met 2 chips er in.



Figuur 5: Een closeup van een hamer en klok die de eerste klank uit de toonladder gaan maken: 'do'. De klok is ongeveer $500 \times 400 \mu\text{m}$ groot.



Hopelijk gaat deze nieuw ontworpen chip het goed doen. De chip is 7×7 mm groot. De zwevende structuren lijken blauw doordat ze geperforeerd zijn en, net als een tralie, licht met één golflengte de camera in buigen. Dit zijn de structuren die moeten gaan trillen.