

**NNN** Uitgave van  
Nederlandse Natuurkundige Vereniging  
Redactiesecretariaat en administratie:  
Bureau NNV, Princetonplein 5, postbus 80.000,  
3508 TA Utrecht, (030) 532329

**Redactie:**  
prof. dr. P.F. de Châtel, (020) 5 22 27 97  
dr. J.E.J. Oberski, (020) 5 92 50 24  
dr. J.F. van der Veen, (020) 94 67 11  
dr. R. Wigmans, (020) 5 92 51 10

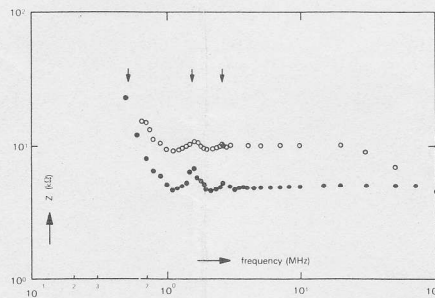
**Productie en Advertenties:**  
Bureau Ellens BV, Duinweg 9 (2585 JT),  
postbus 84323 (2508 AH), Den Haag, (070) 501205  
**Druk:** Samsom-Sijthoff Grafische Bedrijven BV, Alphen aan  
den Rijn

## Ruis als signaal

Het piëzo-elektrisch effect bestaat uit een koppeling tussen mechanische vervorming en elektrische polarisatie: onder mechanische spanning ontstaat er een elektrisch veld in een piëzo-elektrisch materiaal, en omgekeerd, het aanleggen van een elektrisch veld veroorzaakt een deformatie. Dat goede piëzo-elektrische materialen niet onder de metalen worden gevonden wekt geen verbazing, immers, in een ideale geleider kan geen elektrisch veld gehandhaafd blijven. In niet-ideale geleiders, met name in sommige halfgeleiders, zijn de ladingsdragers minder efficiënt in het afschermen van elektrische velden, en komt piëzo-elektrische wél voor. De sterke wisselwerking die via de piëzo-elektrische velden tussen akoestische golven (periodieke, zich voortplantende vervormingen) en ladingsdragers optreedt geeft aanleiding tot het elektro-akoestisch effect, dat in een aantal piëzo-elektrische halfgeleiders (bijv. GaAs, ZnO, CdS) in de afgelopen twintig jaar veelvuldig onderzocht is.

Het elektro-akoestisch effect treedt op indien een elektrisch veld wordt aangelegd waarin de driftsnelheid van ladingsdragers groter is dan de geluidssnelheid. Onder bepaalde voorwaarden kan dan een versterking van lopende akoestische golven optreden. De belangrijkste meetbare gevolgen van het effect, die boven een kritische veldsterkte optreden, zijn de stroomverzadiging en de enorme toename van de stroomruis. Beide hangen samen met het feit dat de ladingsdragers in potentiaalputten gevangen kunnen raken die met de geluidssnelheid bewegen. De potentiaalputten ontstaan als een gevolg van de piëzo-elektrische polarisatie waarmee de lokale vervormingen in de door de ladingsdragers versterkte akoestische golven gepaard gaan. Men zou kunnen zeggen dat de ladingsdragers, door de thermische akoestische golven te versterken, de potentiaalminima zodanig verdiepen, dat ze die ten slotte niet kunnen verlaten. Daar de potentiaalputten niet sneller kunnen bewegen dan de geluidssnelheid, kan het elektrisch veld aan de gevangen ladingsdragers geen energie overdragen – vandaar de stroomverzadiging. Het stochastische karakter van het ontstaan van potentiaalputten uit een superpositie van versterkte thermische akoestische golven verklaart de stroomruis.

Binnenkort verschijnt in *Physica B* een reeks artikelen door W. Westera, waarin hij de resultaten vermeldt van een omvangrijk project bij de Vakgroep Fysische Fluctuatiesverschijnselen van de RUU. In breder verband is het project op niet-lineair ladingstransport bij hoge elektrische veldsterktes in halfgeleiders gericht (de belangstelling in dit onderwerp is groot i.v.m. de



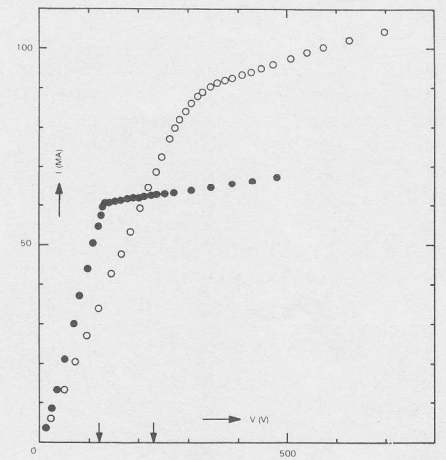
*I-V karakteristiek en ruisspectrum van twee CdS-preparaten van gelijke afmetingen. Daar de beweegbaarheid van ladingsdragers in de twee preparaten verschillend is, verschillen ook de drempelvelden waar stroomverzadiging optreedt. De frequenties waar resonanties in de stroomruis waargenomen zijn, zijn echter gelijk.*

micro-elektronica); Westera heeft het elektro-akoestische effect in CdS aan veelzijdig onderzoek onderworpen. Een van de frappante resultaten van dit onderzoek is dat een lang bestaande controverse betreffende de polarisatie van de elektro-akoestisch versterkte golven door ruismetingen opgelost kon worden. Tevens is gebleken dat ruismetingen tot een zeer betrouwbare bepaling van de beweegbaarheid ( $\mu$ ) van de ladingsdragers kunnen leiden.

In principe zou de bepaling van de polarisatie van elektro-akoestisch versterkte golven eenvoudig moeten zijn: het drempelveld  $E_c$  waarbij het effect optreedt bepaalt de driftsnelheid  $v_d = E_c \mu$  die gelijk is aan de snelheid van de betreffende golven. Daar de snelheid van longitudinale golven meer dan twee keer zo groot is dan die van transversale golven, zou een meting van het drempelveld uitsluitend moeten geven omtrent de aard van de versterkte golven, ware het niet dat de beweegbaarheid niet nauwkeurig genoeg bekend is.

De snelheid van de versterkte golven is ook bepalend voor de frequentieafhankelijkheid van de stroomruis. Westera heeft resonanties waargenomen in de stroomruis en in het wisselstroomgeleidingsvermogen bij frequenties die samenhangen met de overstektijd van de versterkte golven in een gegeven preparaat. Omdat de overstektijd volledig bepaald is door de geluidssnelheid en de afmeting van het preparaat, speelt de onzekerheid in de beweegbaarheid hier geen rol, en kon ondubbelzinnig vastgesteld worden dat in CdS de transversale golven versterkt worden.

Nadat de controverse over de polarisatie van de versterkte golven opgelost was, kon het verband tussen drempelveld en geluidssnelheid omgekeerd toegepast worden. Een experimentele bepaling van  $E_c$  levert een waarde voor de beweegbaarheid op volgens  $\mu = v_d / E_c$ , waarbij voor  $v_d$  de snelheid van transversale akoestische golven wordt inge-



vuld. Ruismetingen bleken zeer geschikt te zijn voor de bepaling van  $E_c$ : bij deze veldsterkte stijgt het ruisvermogen met een factor  $10^3$ , hetgeen een veel drastischer effect is dan het ombuigen van de I-V karakteristiek.

## Precisiemeting van fijnstructuurconstante

Met de toenemende specialisatie binnen de fysica lopen we gevaar om vakgebieden als quantum-elektrodynamica (QED), vastestofelektronica en supergeleiding te veel als afzonderlijke terreinen te beschouwen, welke weinig met elkaar te maken hebben. In feite vormen een aantal fundamentele fysische constanten verbindende schakels tussen de fysische theorieën, die aan deze disciplines ten grondslag liggen. Precisiemetingen van natuurconstanten zijn dus van fundamenteel belang en zeker niet louter bedoeld om tabellenboeken te vullen of om er 'nog een decimaal bij te krijgen'. Zo kan met een nauwkeurige bepaling van de dimensieloze fijnstructuurconstante  $\alpha = (\mu_0 c^2 / 4\pi)(e^2 / hc) \simeq 1/137$  de geldigheid van QED op indringende wijze worden getoetst. (We gebruiken MKSA eenheden;  $\mu_0$  is de permeabiliteit van het vacuüm en is exact gelijk aan  $4\pi \times 10^{-7}$  henry/m;  $c = 299792458$  m/s ( $\pm 0.004$  ppm) is de snelheid van het licht.)

De fijnstructuurconstante  $\alpha$  is de 'koppelpingsparameter' voor de interactie tussen elektronen, muonen en fotonen en is een reeksontwikkelingsparameter in de QED theorie. Zo luidt de QED voorspelling van het anomale magnetische moment  $a_e$  van het elektron:

$$a_e^{\text{theor}} = c_1 (\alpha/\pi) + c_2 (\alpha/\pi)^2 + c_3 (\alpha/\pi)^3 + c_4 (\alpha/\pi)^4 + \dots \quad (1)$$

De coëfficiënten  $c_1$  t/m  $c_4$  zijn berekend met Feynman diagramtechnieken. (De be-