



Delft University of Technology

**Slimme materialen: tien kandidaten
(not) safe for designers? - VII**

Tempelman, Erik

Publication date
2020

Document Version
Final published version

Published in
De Constructeur

Citation (APA)

Tempelman, E. (2020). Slimme materialen: tien kandidaten: (not) safe for designers? - VII. *De Constructeur*, 60(8/9), 14-18.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Slimme materialen: tien kandidaten

(NOT) SAFE FOR DESIGNERS? – VII

Welkom terug, beste lezer. Na alle constructieve overwegingen uit de voorgaande bijdragen wordt het nu weer eens tijd voor de materialen – en wel voor *smart materials*, dat wil zeggen, ‘slimme materialen’.

Maakt u zich maar op voor een verrassend en gevarieerd bereik van materiaalkundig vernuft.

ERIK TEMPELMAN, ADVIESBUREAU ERIKTEMPELMAN.COM,
UNIVERSITAIR HOOFDDOCENT TU DELFT – INDUSTRIEEL
ONTWERPEN

¹ Dit probleem speelt tegenwoordig ook bij termen als ‘smart industry’ en ‘smart cities’.

Een kanttekening vooraf: *smart materials* hebben niet de handigste naam gekregen. Immers, wie iets ‘slim’ noemt, impliceert dat al het overige ‘niet slim’ is – dom, dus. Maar domme materialen, die wil niemand verkopen, laat staan gebruiken. Sinds de invoering van de term is er dan ook enige wildgroei ontstaan in het gebruik ervan. Bij gevolg worden er nu allerlei materialen slim genoemd zonder dat daar goede redenen voor zijn¹, tenzij u ‘marketing’ onder deze redenen wilt scharen. Wat nu precies een *smart material* is en wat niet, is door deze betekenis-inflatie onduidelijk geworden.

Het wegnemen van deze onduidelijkheid is het achterliggende doel van deze NSFD-bijdrage. We doen dit door een aantal ‘kandidaten voor de materiaal IQ-test’ op een rijtje zetten. Daarna zal blijken dat *smart materials* het beste kunnen worden gedefinieerd vanuit een ontwerpend perspectief.

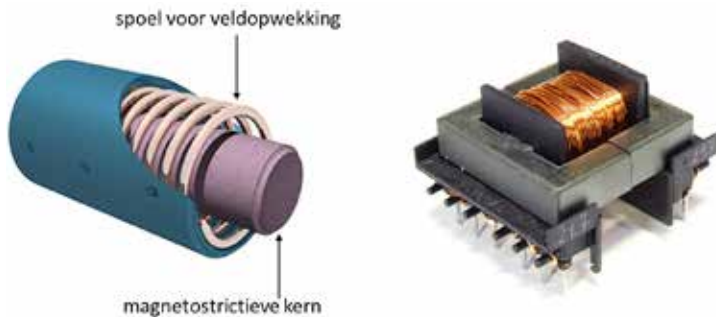
Afbeelding 1
Diverse toepassingen van
piëzo-elektrische
materialen.
(Pim Groen †)



1. Piëzo-elektrische materialen

Deze nuttige en veelvuldig gebruikte materialen genereren een voltage wanneer ze onder mechanische belasting staan. Dit maakt ze geschikt voor toepassingen zoals druksensoren en tiptoetsen. Ze werken ook omgekeerd: dan vervormen ze onder invloed van een elektrische spanning, en dat maakt weer tal van toepassingen als actuatoren mogelijk. Afbeelding 1 zet enkele voorbeelden naast elkaar – er zijn er nog veel, veel meer! U ziet een parkeersensoren, een braille toetsenbord, een gasaansteker, en een ‘automotive HMI demonstrator’ van de Nederlands-Finse firma Aito-Touch.

Merkt u op dat het eigenlijke stukje piëzo-elektrisch materiaal – doorgaans een keramisch composiet, al zijn er ook kunststoffen beschikbaar, zoals PVDF – op zichzelf niet zoveel doet. Toepassing als



Afbeelding 2 Twee gevallen van magnetostrictie – slim, of juist niet?

sensor of actuator vereist integratie van elektrodes tot een *device*, ook wel *unit* genoemd, plus additionele elementen voor gecontroleerde toevoer van energie en/of informatie. Dus, is het dan een materiaal, of een component? Dit vraagstuk speelt ook bij veel van de volgende kandidaten.

2. Magnetostrictieve materialen

Deze materialen zijn vergelijkbaar met de vorige kandidaat, maar nu treedt de vervorming op onder invloed van een magnetisch veld. Het omgekeerde effect komt ook voor: dan leidt vervorming tot een magnetisch signaal (het zogenaamde Villari-effect). De meest genoemde toepassing is die van *transducers* voor sonars, maar er zijn er nog veel meer. Interessant genoeg draagt magnetostrictie ook bij aan het hinderlijke brommen van transformatorkernen – in deze toepassing is het effect dus niet bepaald ‘slim’ te noemen.

3. Verkleurende materialen

Er bestaat een rijk gamma aan materialen die, onder invloed van een of andere input, van kleur kunnen veranderen, of die hun mate van transparantie kunnen aanpassen. Bij de zgn. thermochrome materialen is de input temperatuur: u kent dit wellicht van bijvoorbeeld bepaalde typen aquariumthermometers of lepeltjes voor babyvoeding. Bij elektrochrome materialen is de input een voltage – handig (zij het prijzig) voor onder andere ramen die u op een elegante manier, zonder bewegende delen, wilt kunnen verduisteren. Bij zelfkleurende brillen is weer een ander principe aan het werk. Doorgaans is het effect omkeerbaar, maar niet altijd: pH-papier (ook wel ‘halochroom materiaal’ genoemd) bijvoorbeeld staat slechts eenmalig gebruik toe. Is het dan nog wel ‘slim’ of mogen we verwachten dat de werking kan worden herhaald?

4. Lichtgevende materialen

Ook onze vierde kandidaat omvat opnieuw een gevarieerde familie. We vinden hier onder andere fluorescerende en fosforescerende materialen, dat wil zeggen materialen die zichtbaar licht uitzenden wanneer ze met UV-straling worden beschienen; in het eerste geval is de emissie direct, in het tweede vertraagd – bekend van tal van *glow-in-the-dark* producten. Voorts komen we in deze familie ook de welbekende LED’s tegen: hierin is het lichtgevende materiaal een halfgeleider en is de benodigde input een voltage. Net als bij enkele eerdere kandidaten moet het materiaal dan wel in een geschikt *device* (in de de ‘D’ van LED: de diode) worden opgenomen. Bij de verwante OLED’s is sprake van een polymere halfgeleider (de ‘O’ staat voor ‘organic’) >

Afbeelding 3
Enkele kleur-
veranderende
toepassingen.





Afbeelding 4
Een roll-to-roll
geprinte OLED.
(Foto: Lyteus)

en dat maakt weer nieuwe vormfactoren mogelijk: Afbeelding 4 laat goed zien waar dit toe kan leiden. Overigens kunnen we een LED in principe ook ‘omdraaien’. We krijgen dan een zonnecel: licht erin, stroom eruit. En dan zijn er nog elektroluminescente materialen, die eveneens stroom in licht omzetten, maar met een geheel ander werkingsprincipe dan een (O)LED.

Er zijn nog meer lichtgevende soorten materialen te vinden. Wat te denken van radiumhoudende verf? Dat was begin vorige eeuw helemaal hip – maar helaas met tragische gevolgen voor de ‘radium girls’, de jongedames die door het verwerken van deze verf kanker kregen. Dit was dus niet bepaald een ‘slim’ materiaal om te gebruiken. Los daarvan is er nog de zwart-lichaam-straling (Engels: *black body radiation*), die we bij *elk* materiaal kunnen zien als je het maar warm genoeg maakt. Is dat dan wel ‘slim’, of niet – en waarom precies?

5. Geheugenmaterialen

Het lijkt magisch: een stukje metaaldraad dat, onder invloed van temperatuurwisselingen, ineens van vorm verandert. Bij de *shape memory alloys* (SMA's), dat wil zeggen geheugenmetalen, treedt dit bijzondere effect op. Sinds kort zijn er ook polymere materialen die hetzelfde trucje kunnen laten zien. Toepassingen zijn verrassend zeldzaam, vooral omdat het effect, zeker bij grotere vormveranderingen, niet al te vaak kan worden herhaald zonder dat er een soort van vermoeiing optreedt. Afbeelding 5 toont ons toch een voorbeeld: *shape morphing* omkappingsdelen voor de behuizing van een straalmotor. Het gaat hier om de ‘zaagtanden’ die dankzij SMA-actuatoren van stand kunnen veranderen en zo het geluidsniveau van de straalmotor vermindere(n). Het is bij onderzoek gebleven, maar de resultaten hebben wel hun invloed gehad op de vormgeving van de omkappingsdelen.

De bekendste SMA is Nitinol, een nikkel-titaanlegering die ook voor de actuatoren in de straalmotoromkapping is gebruikt. Dit materiaal heeft niet alleen een ‘geheugen’ maar kan ook zeer grote elastische vervormingen weerstaan. Deze voor meta-

len zeer zeldzame eigenschap maakt op zichzelf ook weer allerlei toepassingen mogelijk: wielen voor Marslanders bijvoorbeeld (tinyurl.com/y3oy8d6p).

6. Thermisch constante materialen

Tot dusverre kenmerken de kandidaten zich door de aanwezigheid van een zeker ongebruikelijk gedrag onder invloed van een bepaalde input. Er bestaan echter ook allerlei materialen die zich typeren door het *niet* vertonen van iets dat andere materialen wel doen. De nikkel-ijzerlegering Invar bijvoorbeeld vertoont, anders dan andere metalen, nagenoeg geen thermische expansie (afbeelding 6). Frappant genoeg is de precieze oorsprong van dit zeldzame gedrag nog niet helemaal duidelijk – het lijkt verband te houden met magnetisme.

Op vergelijkbare wijze vertonen de legeringen Constantaan en Manganine een nagenoeg constante elektrische weerstand als functie van temperatuur, anders dan de toenemende weerstand die ‘normale’ materialen laten zien. De legering Elinvar heeft ook iets apart en wel een constante (in plaats van licht afnemende) stijfheid c.q. elasticiteitsmodulus bij temperatuurverhoging. We kunnen al deze legeringen aanduiden met de nieuwe term ‘thermisch constante materialen’. Toepassingen zien we vooral in meetapparatuur – maar is het ook ‘slim’ materiaalgedrag? U mag het zeggen.

7. Zelfhelende materialen

Een relatief recente tak van de materialenboom betreft constructiematerialen die het vermogen bezitten om erin ontstane schade enigszins te kunnen repareren – helemaal zelfstandig, zonder tussenkomst van de onderhoudsploeg. Zelfhelend beton bijvoorbeeld, dat sinds 2017 in de praktijk wordt beproefd. Kan dit adaptieve gedrag wellicht ook reden zijn om deze materialen onder de smart materials te scharen? Dezelfde vraag kunnen we stellen bij de zogenaamde self-monitoring materials, die dankzij vernuftig geplaatste sensoren hun structurele integriteit kunnen bewaken. Handig, want dan hoeft de onderhoudsploeg alleen te komen als het echt nodig is. Ook dit is geen ‘science fiction’, maar ‘engineering fact’ – zij het nog zeldzaam, want de kosten zijn voorsnog hoog.

8. Slimme coatings

Weer een andere tak van de boom brengt ons bij ‘smart coatings’. Wie hier eens in klimt, wacht opnieuw een rijk gevarieerd gebladerte. Extreem hydrofobe coatings bijvoorbeeld, geïnspireerd op de lotusplant – het inmiddels welbekende Lotusan.



Afbeelding 5
SMA's toegepast in een straalmotorbehuizing. De SMA-actuatoren kunnen de stand van de 'zaagtanden' veranderen en zo de geluidsproductie van de motor verminderen (Foto: NASA).

Met enige fantasie (rijkelijk voorhanden op uw marketingafdeling) is ook koperhoudende anti-foulingverf voor schepen als smart te beschouwen. Of zijn dit nu toch weer gevallen van betekenis-inflatie? Typerend voor deze coatings is immers dat ze altijd 'aan' staan: het speciale effect is er ontegenzeggelijk, maar het kan niet aan- of uitgeschakeld worden. En dat lijkt toch een alleszins redelijke eis om echt van 'slimme coatings' te kunnen spreken.

9. Slimme vloeistoffen

Nog weer een nieuwe groep – houdt de variëteit dan nooit op? Sinds 2002 kunt u in de Cadillac Seville als optie schokdempers krijgen met daarin een zogeheten magneto-rheologische vloeistof. 'MagneRide', heet dat, aldus de marketing. Deze dempers bevatten een vernuftige suspensie van ijzerdeeltjes, waarvan de schijnbare viscositeit (en daarmee de dempingskarakteristiek) met een extern aangebracht magnetisch veld kan worden beïnvloed. Voilà: een smart liquid! Onder deze zelfde term komt de geduldige zoeker al snel een heel oerwoud tegen van opties, elk met hun eigen toepassingen.

10. Thermo-elektrische materialen

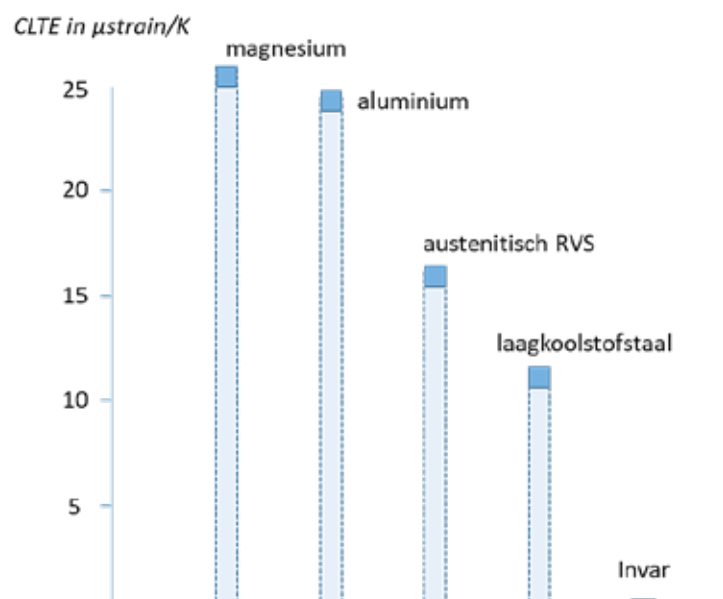
We maken het tiental 'kandidaten voor de materiaal IQ-test' vol met opnieuw een vaste stof. Kent u het Seebeck-effect? Hierbij weet een bepaald materiaal een temperatuurgradiënt – dat wil zeggen warm aan de ene kant, koud aan de andere – om te zetten in een voltage. Dankzij dit effect bestaan er goed werkende thermokoppels en hebben satellieten zoals de 'New Horizons' Plutosonde ook stroom, daar waar een zonnecel amper zou werken (afbeelding 7). Radioactiviteit zorgt hierbij voor de

warmte. Bij het Peltier-effect gebeurt zo ongeveer het omgekeerde, en daar danken we dan weer kleine koelementen aan, werkend op stroom – en opnieuw zonder bewegende delen. Kosten en efficiency zijn dusdanig dat we beide effecten alleen in nichetoepassingen terugzien, maar slim is het zonder meer. Toch?

Slim of niet slim: een poging tot definitie

Het toonaangevende wetenschappelijk *Journal of Smart Materials and Structures* definieert slimme materialen als "materialen die zodanig kunnen worden beïnvloed dat hun respons en eigenschappen kunnen veranderen onder een stimulus". Volgens deze definitie zijn piëzo-elektrische en magnetostrictieve

Afbeelding 6
Thermische expansie van diverse materialen.



materialen beiden zeker 'slim', evenals verkleurende en lichtgevende materialen, geheugenmaterialen, en thermo-elektrische materialen. Ook de magneto-rheologische vloeistoffen mogen bij de club, maar de anti-foulingverf en die Lotusan-coating niet: respons noch eigenschappen hiervan kan immers worden beïnvloed. Alle genoemde 'thermisch constante materialen' kunnen onder deze definitie ook niet als slim worden gekenmerkt, hoe handig ze soms ook zijn. De zelfhelende materialen zijn een grensgeval – we neigen naar "nee, helaas".

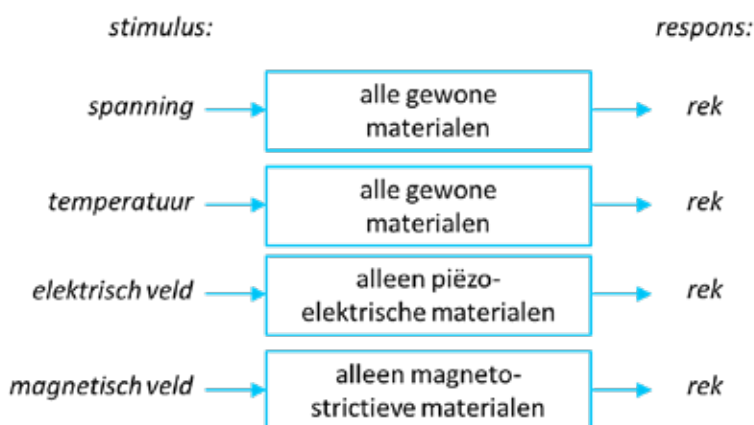
Deze definitie lijkt werkbaar – maar dat is maar schijn. Want bij bijvoorbeeld de magnetostrictieve materialen zagen we al dat het 'slimme' effect ook storend kan werken: het brommen van transformatoren. En dat is nog maar het topje van een ijsberg aan onverwachte en vaak negatieve effecten. Zo zijn diverse piezo-elektrische materialen ook pyro-elektrisch, dat wil zeggen ze geven ook een voltage af als ze worden opgewarmd. Dit extra effect kan verrassend gevoelig zijn en verstoort dan maar al te makkelijk de bedoelde werking van een tiptoets of andere toepassing. Los daarvan is het nog zo dat een beoogde 'slimme' respons zoals vormverandering ook op andere manieren kan worden bereikt dan middels piezo-elektriciteit of magnetostrictie: Afbeelding 8 toont er nog twee meer, en die kent u ongetwijfeld. Wat maakt nou eigenlijk dat bijvoorbeeld opwarming niet mag worden gezien als een stimulus, en elektrische of magnetische velden wel? Dit speelde ook bij de lichtgevende materialen: als je iets maar warm genoeg stookt, gaat het op den duur vanzelf gloeien – mits het voor die tijd niet verbrandt, natuurlijk.

Wat beter werkt is een definitie vanuit de beoogde toepassing. Dan telt het namelijk mee of (1) het te bereiken effect wenselijk is en (2) dat op een prakti-



Afbeelding 7 De New Horizons Plutosonde. (Beeld: NASA)

Afbeelding 8
Eén respons, vier
stimuli – welke zijn
'slim'?



sche manier kan worden bereikt. Een voorzet: "slimme materialen zijn alle materialen die een zeker stimulus-respons gedrag vertonen dat hen geschikt maakt voor toepassing in sensoren en/of actuators op een wijze die met andere middelen niet praktisch of niet mogelijk is".

Thermische expansie valt dan af omdat het geen praktische stimulus is (materialen zetten pas merkbaar uit bij relatief grote temperatuurveranderingen), en radio-luminescentie – de 'radium girls', weet u nog? – valt af omdat het gevaarlijke neven-effecten heeft.

Het zal niet het laatste woord zijn over dit onderwerp, maar wel van deze bijdrage. Hopelijk heeft het voorgaande u aan het denken gezet en de wereld van de slimme materialen tot leven gebracht. ◉

Volgende keer in (Not) Safe For Designers(?): lichtgewicht construeren