

Thermo-elektrische materialen

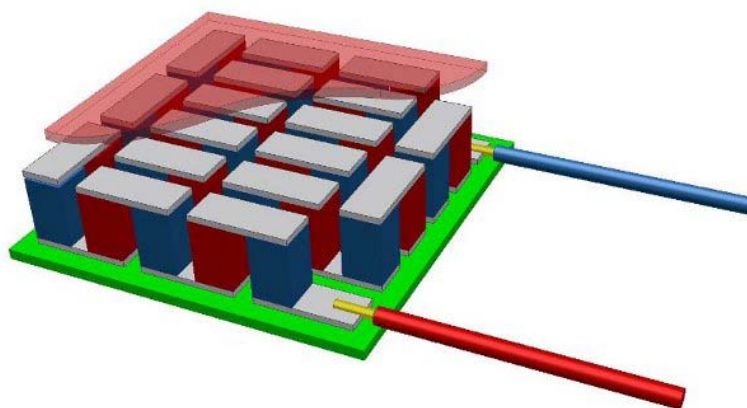
Peltier energy harvesting

April 2013

Inleiding

Thermo-elektrische materialen behoren tot een groep van (samengestelde) materialen die elektriciteit kunnen genereren uit (rest)warmte, het Seebeck-effect, anderzijds kunnen ze als koelelement kunnen worden gebruikt, het Peltier-effect. Anders gezegd: Thermo-elektrische materialen zetten een temperatuurgradiënt om in een elektrische spanning en vice versa¹.

Thermo-elektrische materialen worden veel toegepast om actief te verwarmen of te koelen (Peltier). Toepassingen die gebruik maken van de mogelijkheden voor energy harvesting uit restwarmte (Seebeck) zijn nog relatief onbekend en hier liggen dan ook kansen.



¹ <http://www.clubgreen.nl/vraag/Thermo-elektrische-generatoren.html>



Inhoud

Inleiding	1
Algemeen	3
Historie en ontwikkelingen	3
Onderzoek.....	3
Thermo-elektrische materialen in dunne lagen.....	3
Materiaal	5
Welk thermo-elektrisch materiaal moet ik gebruiken?	5
Aanschaf thermo-elektrische modules	6
Proces	6
Hoe werkt het?	6
Intentie.....	7
Toepassingen.....	7
Koelen/verwarmen.....	7
Harvester.....	7
Esthetiek	9
Perceptie	9
Blackbox	9
Constructie.....	10
IMPT onderzoekt flexibele thermo-elektrische laag.....	11
Thermo-elektrisch overhemd.....	11
Voltbooster	12



Algemeen

Historie en ontwikkelingen

Thermo-elektrische materialen zijn al sinds de 19e eeuw bekend. In 1834 ontdekte de Franse natuurkundige Jean Peltier dat er warmte wordt getransporteerd van de overgang tussen twee metalen wanneer er een elektrische stroom vloeit door het grensvlak. Het grote **voordeel** van Peltier elementen is dat er geen bewegende delen of vloeistoffen in zitten, waardoor het onderhoudsarm en stil is. **Nadeel** is het lage rendement (<10%) van deze materialen².

Grootste uitdaging is het vinden van het juiste materiaal: goede elektrische geleiding in combinatie met slechte warmtegeleiding. Slechte warmtegeleiding is noodzakelijk om het temperatuurverschil tussen beide kanten te handhaven. Probleem is dat de meeste materialen die goed elektriciteit geleiden, eveneens goed warmte geleiden. Warmte wordt onder andere doorgegeven door elektronen, elektriciteit ook, dus daar valt niets te winnen. Warmte wordt ook doorgegeven door trillingen (fononen). Deze trillingen probeert men op nanoschaal te dempen. Ontwikkelingen in de nanotechnologie hebben aangetoond dat het mogelijk is om de efficiency van de thermo-elektrische materialen te verbeteren. Hierdoor kan meer elektriciteit worden opgewekt dan voorheen en wordt het Seebeck effect (energy harvesting) interessant.

Onderzoek

In Duitsland wordt onderzoek gedaan naar thermo-elektrische materialen door Max-Planck (fundamenteel), maar ook door Fraunhofer (toepassingsgericht). Bij MESA+ wordt onderzoek gedaan naar het verhogen van het rendement van thermo-elektrische materialen. Bij het Holst Centre wordt onderzoek gedaan naar verbetering van materiaal dat geschikt is voor het lage temperatuur bereik en anderzijds naar verbetering van materiaal met een hoge efficiëntie in het hoge temperatuurbereik, zoals SiGe.

Thermo-elektrische materialen in dunne lagen

Ontwikkelingen op het gebied van dunne, flexibele films (dikte ordergrootte 10 µm) zijn in volle gang, maar nog niet commercieel beschikbaar. Nadeel is de kleine temperatuurgradiënt (door de korte afstand tussen de warme en koude zijde), maar door het grote oppervlak en de verbeteringen van het rendement levert het toch relatief veel energie op. Mogelijk is dit in de toekomst te sprayen en kan zo warmteverlies op bijvoorbeeld chips worden teruggewonnen. Tevens worden toepassingen op het lichaam gedragen ook interessant, gebruik makend van het temperatuurverschil tussen het lichaam en de omgeving. Door de beperkte efficiëntie was dit

² http://www.centexbel.be/files/PDF_files/technische-fiches/slimme-materialen-fiche-thermo-elektrisch.pdf



voorheen nog niet commercieel haalbaar³. Bijkomend punt is dat thermo-elektrische materialen giftige materialen kunnen bevatten en dus in de regel niet geschikt zijn om direct op het menselijk lichaam te dragen.

Het bedrijf Perpetua (VS) heeft wel een commercieel dunne film product. Hierbij is de dunne laag (Perpetua Flexible Thermoelectric Film™) onderdeel van een totaalproduct. Samen met het koelgedeelte is dit nog steeds een solide product⁴.

De producten van het bedrijf MicroPelt⁵ en Nextreme⁶ hadden dezelfde beperking. De flexibele dunne thermo-elektrische laag maakt onderdeel uit van een groter, vast geheel met koelblok. Dit is belangrijk voor een goede werking, maar belemmert de flexibiliteit.

³ *Presentatie Wearable Electronics: Sensor Hub – a development platform for healthcare and sports.*
Markus Strecker, Interactive Wear AG

⁴ <http://www.perpetuapower.com/technology.htm>

⁵ <http://www.micropelt.com/>

⁶ <http://www.nextreme.com/>



Materiaal

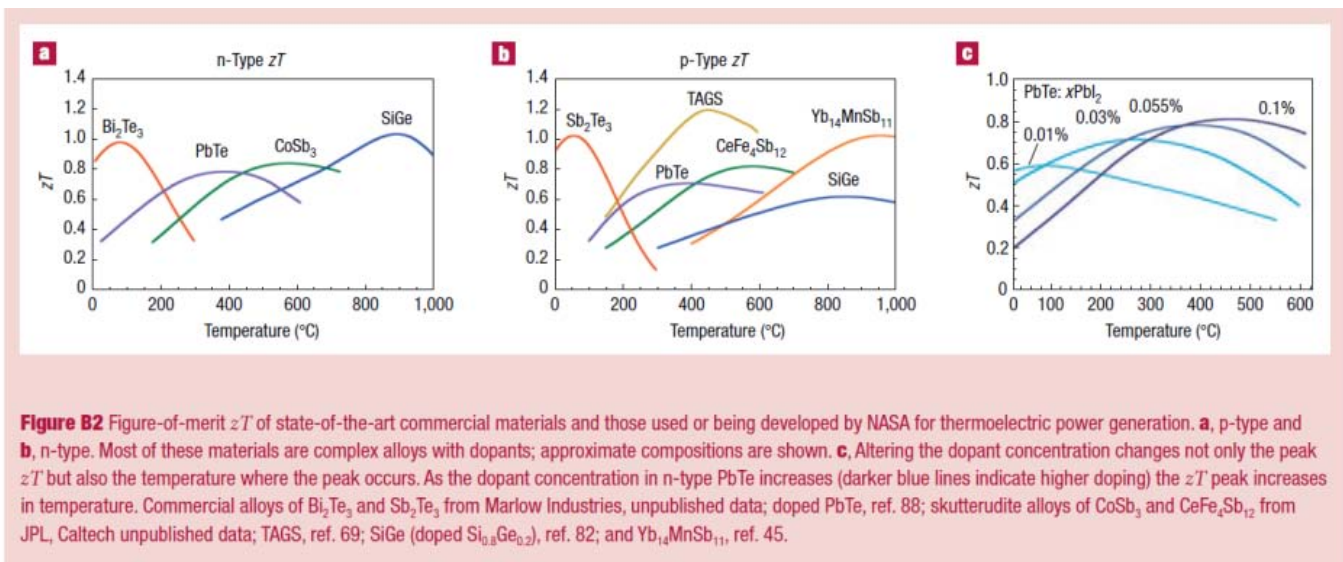
Welk thermo-elektrisch materiaal moet ik gebruiken?

Om de verschillende thermo-elektrische materialen met elkaar te vergelijken is er een thermo-elektrische effectiviteitsfactor (of kwaliteitsfactor) opgesteld: zT .

$$ZT = \frac{\sigma S^2}{\kappa} T$$

- σ = elektrische geleiding
- S = Seebeck factor (V/K)
- κ = thermische geleiding
- T = Temperatuur (K)

Deze formule laat duidelijk zien dat een zo hoog mogelijke elektrische geleiding en Seebeck factor (teller) in combinatie met een zo laag mogelijk thermische geleiding (noemer) de hoogste effectiviteit geeft. Deze zT factor is voor een aantal materialen weergegeven in onderstaande grafieken [Figuur 2].



Figuur 1 Bron: Complex thermoelectric materials – Jeffrey Snyder en Eric S. Toberer – Nature Publishing Group

Uit Figuur 2 blijkt dat er een beperkte hoeveelheid materialen geschikt is voor gebruik bij temperaturen nabij kamertemperatuur. De legeringen Bi_2Te_3 (Bismut telluride) en Sb_2Te_3 (Antimoon telluride) worden verreweg het meest toegepast in peltier-elementen.



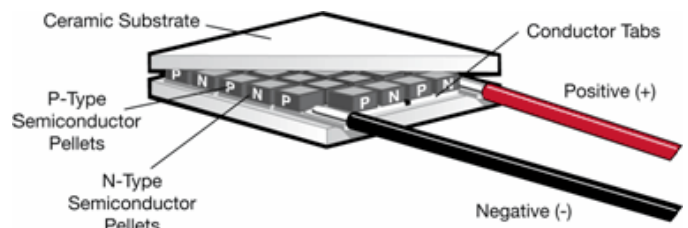
Aanschaf thermo-elektrische modules

Kant en klare thermo-elektrische modules zijn commercieel beschikbaar. Ze worden vaak peltier-elementen genoemd, maar ze kunnen ook als thermo-elektrische generator ('Seebeck-element') worden gebruikt. Er zijn ook elementen die specifiek ontwikkeld zijn voor energy harvesting, deze worden thermo-electric generators (TEG) genoemd. Bij de aanschaf is het belangrijk om te weten wat de temperatuur is waarin het product dienst moet doen. Er worden op internet veel peltier-elementen aangeboden, maar zoals eerder gezegd is het rendement vaak nog beperkend. Er zijn ook 'meertraps' peltier elementen. Dit zijn gestapelde peltier elementen om een groter temperatuurverschil te creëren (bij actief koelen).

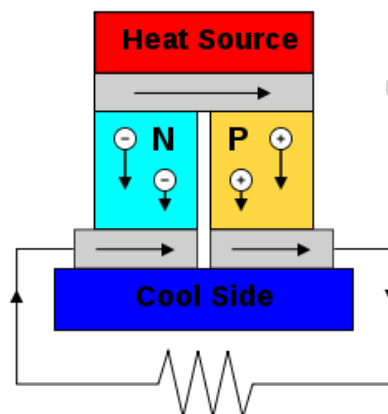
Proces

Hoe werkt het?

Een thermo-elektrisch module is opgebouwd uit een bovenlaag en een onderlaag met daartussen halfgeleiders, de zogeheten n- en p-materialen [Figuur 2]. Het n-materiaal heeft vrije elektronen over en is dus negatief geladen. In het p-materiaal ontbreken elektronen, waardoor een elektronengat of 'positief gat' ontstaat en het materiaal positief geladen is. Wanneer één kant wordt verwarmd krijgen de elektronen bewegingsenergie aan de warme kant, waardoor ze zich gaan verplaatsen. Anderzijds verplaatsen de gaten zich ook, omdat deze door een elektron in de buurt worden opgevuld. Zo gaan de elektronen bewegen en ontstaat een elektrische spanning⁷.



Figuur 2: Opbouw peltier element (bron: tweakers.net)



Figuur 3: Energy harvesting (bron: wikipedia)

⁷ Dr. Ir. M. Huijben – Utwente, MESA+ Institute for Nanotechnology

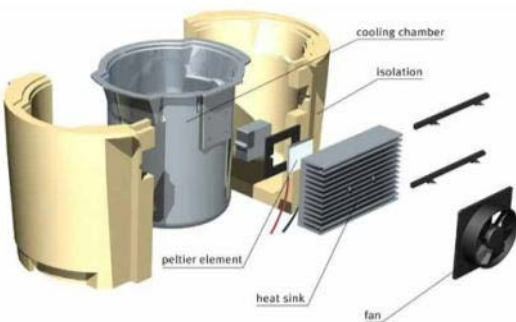


Intentie

Toepassingen

Thermo-elektrische materialen worden op dit moment voornamelijk gebruikt als koel- of verwarmingselement (Peltier-effect). Bijvoorbeeld in draagbare/camping koelsystemen om actief te koelen of in autostoelen voor de stoelverwarming.

Koelen/verwarmen



Figuur 4: Beertender exploded view

Een toepassing waarin een peltier element voor koeling wordt gebruikt is de Beertender [Figuur 4]. De koude kant van het peltier element staat in contact met de koelkamer. Deze koelkamer is geïsoleerd met schuim. De warme kant is verbonden met een koellichaam met een ventilator. Deze voert de warme lucht af. Het peltier element is rondom geïsoleerd. Uit dit voorbeeld kan worden opgemaakt dat voor een optimale werking van het peltier element het volgende van belang is: goede isolatie rondom het element en dus afscherming van de warme en koude

zijde, daarnaast is het plaatsen van een koellichaam en ventilator belangrijk om de warme lucht af te voeren. Kortom, goede warmte af- en aanvoer.

Voordelen:

- Geen bewegende delen (duurzaam)
- Warmte onttrekken (lage temperaturen mogelijk)
- Geluidloos (stil)
- Groot aanbod in standaard elementen

Nadelen:

- Laag rendement($\pm 10\%$)

Harvester

Door de nu nog lage energieopbrengst worden thermo-elektrische materialen (Seebeck-effect) op dit moment voornamelijk toegepast om sensoren, op moeilijk bereikbare plaatsen, van energie te voorzien. Daarnaast worden ze toegepast bij machines in de industrie waar hoge temperaturen zijn en grote temperatuurgradiënten. Verder wordt er veel ontwikkeld voor de automobielenindustrie, omdat daar grote warmteverliezen zijn. Met behulp van thermo-elektrische materialen op bijvoorbeeld de uitlaat van een auto gaat men proberen deze warmteverliezen



terug te winnen en omzetten in elektrische energie. Kenmerkend voor thermo-elektrische modules is dat ze een laag voltage en relatief hoog ampèrage leveren. Een voorbeeld van een harvesting toepassing is de BioLite CampStove (zie hoofdstuk Perceptie).

Voordelen:

- Energie uit restwarmte
- Inzetbaar op moeilijk bereikbare plaatsen

Nadelen:

- Laag rendement (laag voltage)
- Hoog temperatuursverschil nodig



Esthetiek

De thermo-elektrische materialen zijn onderdelen van producten die vaak niet in het zicht zitten. De elementen zitten dus binnen in een product verwerkt. De elementen zelf worden ontworpen op functie.

Perceptie

Blackbox

De werking van thermo-elektrische materialen is bij de meeste mensen niet bekend, daarom is het ook zo dat het toegepast wordt als een black-box principe. Het is daarbij zo dat er een behuizing is waarin het thermo-elektrische materiaal is verwerkt en het apparaat een bepaalde input moet krijgen om een output te geven, de werking van de omzetting binnen het apparaat is onbekend voor de gebruiker. Door er plaatselijk warmte in te stoppen zal er een spanning ontstaan.

Voorbeeld:

BioLite CampStove⁸

Dit is een kookgereedschap voor kampeers, waarmee ze eten kunnen verwarmen in een pan en tegelijkertijd uit restwarmte hun telefoon op kunnen laden. Op de elektrische energie die ontstaat uit de warmte die het peltier element omzet wordt ook een ventilator aangedreven. Deze zorgt voor een optimale verbranding van het hout waardoor er meer hitte ontstaat. Dit is een blackbox omdat de gebruiker hout in het product stopt en aansteekt. Daardoor ontstaat er warmte en een elektrische spanning. Het proces daartussen is voor de gebruiker onduidelijk.



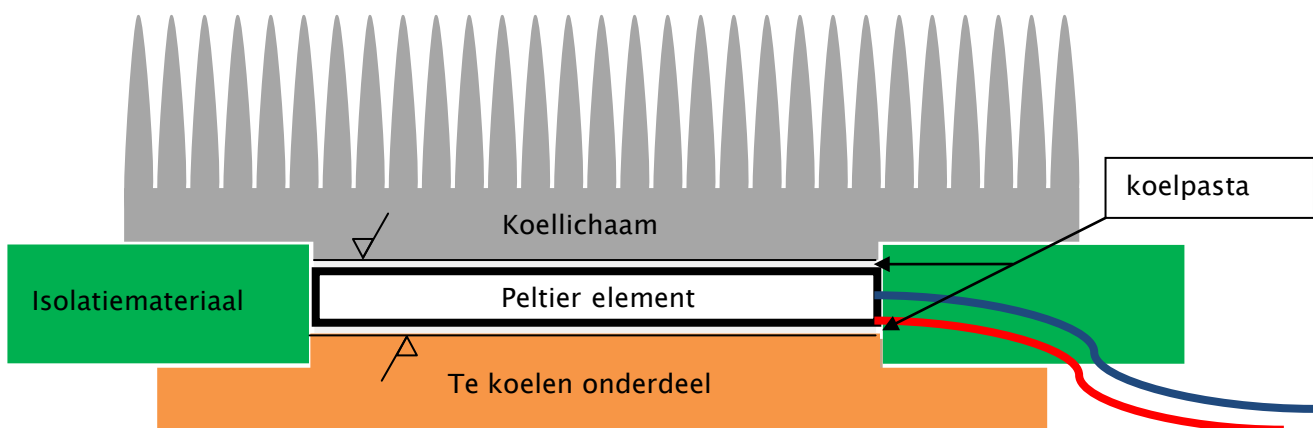
Figuur 5: BioLite CampStove met usb lader.

⁸ <http://www.biolitestove.com/>



Constructie

Om een peltier element optimaal te laten werken moet er een constructie in een product gerealiseerd worden waar aan de ene kant van het peltier een warmtebron zit. De warmte moet zo veel mogelijk naar het peltier element toe geleid worden. Dit is te realiseren met een geleidende plaat (bijvoorbeeld koper) die de warmte doorgeeft aan het element. Voor optimale warmteoverdracht is het noodzakelijk (warmte) geleidingspasta tussen het element en de plaat aan te brengen. Aan de andere kant van het peltier moet juist de warmte zo veel mogelijk aan het element onttrokken worden. Dit gebeurt door het gebruik van een koellichaam. Een koellichaam is meestal van aluminium en heeft vinnen/ribben zodat het lichaam een zo groot mogelijk oppervlak heeft. Er is dan veel warmteafgifte aan de lucht. Hier is het ook noodzakelijk tussen het peltier element en het koellichaam geleidingspasta aan te brengen.

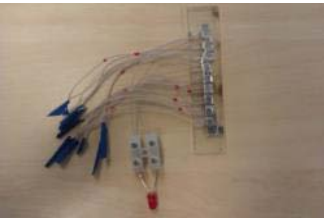




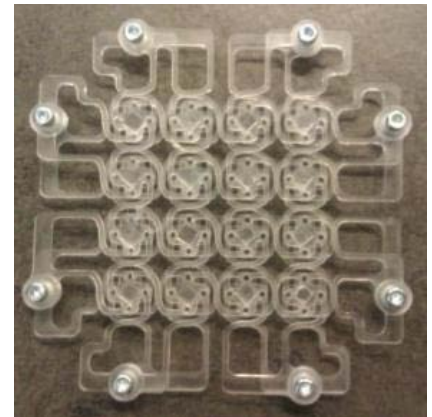
IMPT onderzoekt flexibele thermo-elektrische laag

Er zijn ontwikkelingen gaande om dunne, flexibele thermo-elektrische lagen te maken. Het wordt dan voorstelbaar om energie op te wekken uit het temperatuurverschil tussen mens en omgeving. Deze flexibele lagen zijn echter nog niet commercieel beschikbaar.

Het IMPT heeft daarom een aantal testen uitgevoerd. Insteek is om een flexibele thermo-elektrische laag te maken, bestaand uit een grid [Figuur 7] van vaste Peltier-elementen. Deze laag moet bij



ongeveer 10 graden temperatuurverschil een LED kunnen laten oplichten. Daartoe zijn zeer kleine Peltier-elementen aangeschaft (4x4x2,7 mm)⁹. Deze leveren per element ongeveer 0,007 Volt wanneer één kant werd verwarmd met de hand ($\Delta T \pm 10^\circ\text{C}$). Wanneer deze elementen in serie worden geschakeld levert dit 0.063 Volt (9 elementen x 0,007 Volt, bij $\Delta T \pm 10^\circ\text{C}$). Uit een klein temperatuurverschil zijn dus in eerste instantie geen voltages ordergrootte 1V te halen.



Figuur 6: Flexibel grid



Figuur 7: IMPT testen

Om de opstelling te testen is de ΔT vergroot. Daarna is de ΔT vergroot door gebruik te maken van een soldeerbout [Figuur 6]. Door dit grotere temperatuurverschil is er maximaal 1,3 V gemeten bij 130 mA.

Thermo-elektrisch overhemd

Er is een onderzoek gedaan naar Peltier-elementen in een overhemd door het Holst Centre¹⁰. Er is contact gelegd met de onderzoeker en daar werd duidelijk dat Peltier-elementen specifiek voor gebruik op het lichaam (rondom kamertemperatuur en een lage temperatuurgradiënt) nog niet commercieel beschikbaar zijn. De Peltier-elementen die gebruikt zijn in dat onderzoek zijn door hen zelf samengesteld. Er waren 14 elementen nodig om 1 mW bij 22°C omgevingstemperatuur op te wekken. commercieel beschikbaar zijn. De Peltier-elementen die gebruikt zijn in dat onderzoek zijn door hen zelf samengesteld. Er waren 14 elementen nodig om 1 mW bij 22°C omgevingstemperatuur op te wekken.

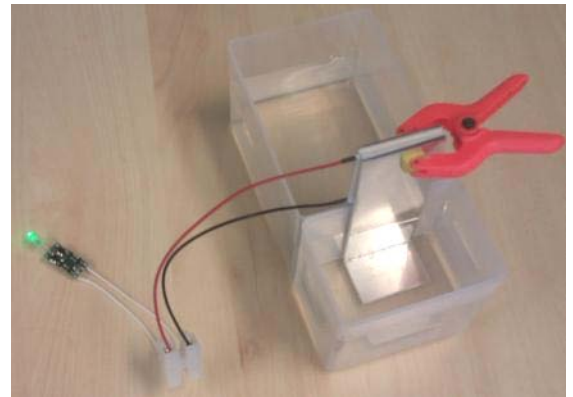
⁹ <http://nl.rs-online.com/web/p/thermo-electric-modules-peltier-effect/6935135/>

¹⁰ <http://www.engineersonline.nl/nieuws/id18890-elektrisch-overhemd-geeft-energie.html>



Voltbooster

Een filmpje¹¹ waarbij een LED oplicht door de palm van je hand op een peltier element te leggen bracht nieuw perspectief. Het blijkt dat een voltbooster van een laag voltage (ordergrootte 0,1 V), een voltage bruikbaar voor een LED kan maken (1,3 V en hoger). Deze voltbooster is door IMPT besteld [zie Figuur 8]. Het is dus wel mogelijk om een LED op te laten lichten door temperatuurverschil tussen het lichaam en de omgeving ($\Delta T \pm 10^\circ\text{C}$).



Figuur 8: Peltier element met voltbooster (koud en warm water)

¹¹ <http://www.youtube.com/watch?v=lvMeGX0aI08>