

Micro-miniaturkoeler voor detectoren

Samenvatting door H. Heubers van een artikel in het juni-nummer van "Photonics Spectra" door dr. R. Wolfe en R.M. Duboc jr. [1].

Inleiding

Het koelen van detectoren verlaagt hun ruisniveau, waardoor het detectieniveau verbetert. De koelers daarvoor zijn dan ook vitale onderdelen van bepaalde instrumenten. Als medium is hiervoor reeds lang vloeibare stikstof uit voorraadvat de eerste keus.

Traditionele Joule-Thomson cryostatens, gemaakt van aan geribde buis gesoldeerde capillaire pijp, worden voor militaire doeleinden bij duizenden gebruikt om infrarood-detectoren te koelen. Zij vinden ook commerciële toepassing, zoals in infrarood-camera's en wetenschappelijke instrumenten. Een achttal principieel verschillende miniaturkoelers is te vinden onder "Education Permanente" in Mikroniek, nr. 6 van 1974.

In het volgende wordt een verdere miniaturisatie beschreven, gebaseerd op werkwijzen zoals ondermeer toegepast bij de halfgeleiderfabricage, waarbij dezelfde thermodynamische principes zijn toegepast als bij de Joule-Thomson cryostatens, maar een verdere vergelijking houdt daarmee op. In veel toepassingen geven zij voordelen wat betreft afmetingen en gewicht en dikwijls ook in prijs en prestatie.

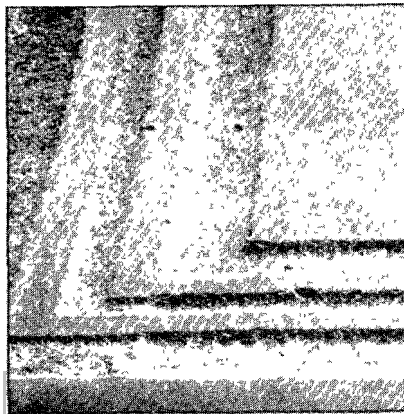
Koeler als "gedrukte schakeling"

In 1970 realiseerde zich dr. William Little [2], destijds verbonden aan de Stanford universiteit, dat veel elektronische componenten werden gekoeld door cryogene systemen met een koelcapaciteit die honderd of meer keren groter was dan nodig en begon toen verschillende koel-kringlopen te onderzoeken op mogelijkheden tot optimaliseren door verkleining. Hij koos voor de Joule-Thomson (JT) kringloop, omdat hier in de koeltrap geen bewegende delen voorkomen en daardoor ook geen trillingen.

De voor- en nadelen van de JT-koeler, alsmede later door Little ontwikkelde wetten voor schaalverkleining, zijn door hem uitvoerig behandeld in een serie artikelen [3].

De schaalwetten maakten duidelijk dat bij JT-koelers met klein vermogen de doorsneden van de kanalen in de orde van microns komen. Echter, kanalen van deze grootte-orde kunnen in serie niet betrouwbaar worden gemaakt van metalen capillaire buis.

De oplossing was het gebruiken van foto-etstechnieken, zoals bij het maken van halfgeleiders, om zeer nauwkeurige smalle groeven te kunnen maken in een substraat met een lage warmtegeleiding, waartoe glas zich bij uitstek leent.



Figuur 1 laat een detail van een geëtsde plaat zien. Door de constructie ontstaan later gesloten kanalen, waarvan de patronen door hun ontwerp een JT-koeler vormen.

Bij massaproductie wordt een "step-and-repeat"-werkwijze gevolgd om een masker te verkrijgen met vele, herhaalde beelden van het kanalenpatroon. Met behulp van dit masker kan men op een groot substraat in veelvoud kopieën van een patroon etsen, die later worden vrijgezaagd.

Deze fabricagemethode heeft bewezen betrouwbaar en gelijkmatig te zijn.

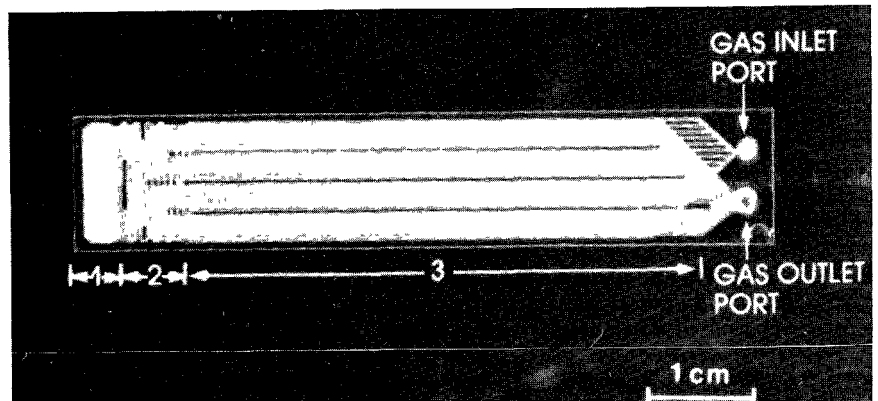
Ontwerp en constructie

In figuur 2 is een micro-miniaturkoeler te zien van een ouder model, dat bestaat uit drie glasplaten die twee "etages" gaskanalen begrenzen.

Tijdens het gebruik wordt gecomprimeerd gas - e.g. stikstof - naar de inlaat rechtsboven gebracht, vanwaar het in de nauwe invoerkanalen van een warmtewisselaar stroomt, figuur 2-3, en daarna capillaire kanalen passeert waar de druk daalt naar atmosferisch niveau, figuur 2-2.

Door de snelle drukverlaging daalt het gas een paar graden in temperatuur.

Figuur 1 Gedeelte van een geëtsde glasplaat die een warmtewisselaar moet gaan vormen; de wijde groeven zijn 200 µm breed (elektronen-microscopie).



Figuur 2 Oorspronkelijk model van een glazen Joule-Thomson koeler

1. Kooksectie en plaats van detector
2. Capillairsectie voor JT-expansie.
3. Tegenstroomwarmtewisselaar

Het nu kouder geworden gas stroomt in de kookruimte aan de linkerkant van de koeler, figuur 2-1, gaat daar door een gat in de middelste glasplaat en stroomt weer terug via *wijde*, ondiepe uitvoerkanalen naar buiten door de uitlaat rechtsbeneden.

Omdat het gas in de uitvoerkanalen kouder is, koelt dit het instromende gas vóór, er is een effectieve tegenstroom-warmtewisselaar gevormd. Gedurende de afkoelfase houdt dit effect aan en daalt de temperatuur voortdurend totdat de stikstof vloeibaar wordt. De doeltreffendheid van de warmtewisselaar is bepalend voor het totale rendement van de koeler en bereikt bij deze constructie 96 tot 99%.

Het is op te merken dat in het koelermodel van figuur 2 twintig parallelle invoerkanalen zijn gekoppeld aan één capillairkanaal. Dit soort netwerken met vele kanalen zou bij een conventionele metaalconstructie leiden tot praktische problemen bij de vervaardiging. Met de foto-etstechniek echter ligt de enige moeilijkheid bij de fase vóór het etsproces.

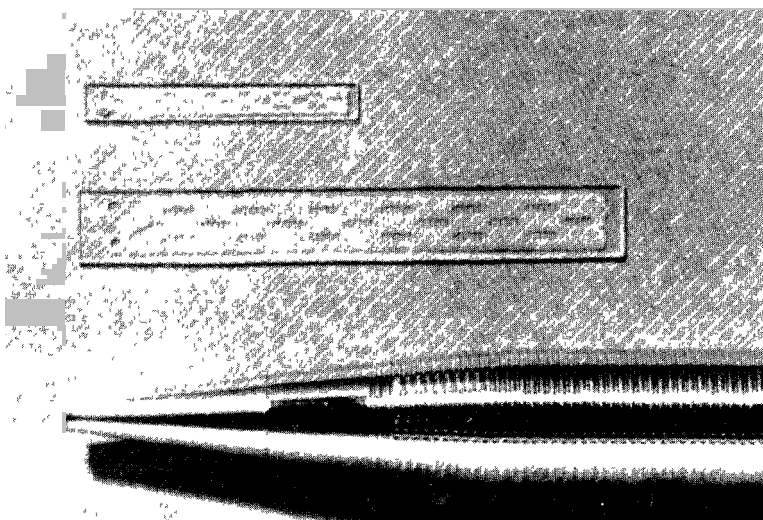
Tegenwoordig geproduceerde micro-miniaturkoelers bezitten complexere netten van doorverbonden kanalen. Er worden daarbij meervoudige JK-trappen toegepast, die het totale rendement, de werktemperatuur en andere factoren optimaliseren. Bovendien bezitten deze netten extra kanalen om de bekende storingen in JK-koelers door verstopping tegen te gaan.

Ontwikkeling

De meeste tot nu toe gefabriceerde micro-miniaturkoelers zijn in grootte gelijk aan de koeler van figuur 2 en zijn ontworpen voor een koelvermogen van – typisch – 250 milliwatt bij 80 Kelvin, zij gebruiken ongeveer 110 liter stikstof van 125 bar per uur.

Tegenwoordig worden infrarood-detectoren voor handelsinstrumenten gekoeld, zoals bij IR-spectrofotometers en camera's voor IR-meting en "warmtebeelden". Deze detectoren dissiperen slechts enkele milliwatts bij 80 tot 90K. Zoals reeds is gezegd, worden de meeste gekoeld met vloeibare stikstof. Hoewel dit relatief goedkoop is zijn er verborgen kosten door de vereiste veiligheidsvoorzorgen, het doorgaande verlies door afkoken in het voorraadsvat en de dure dewar-toebehoren.

Micro-miniaturkoelers zijn ontwikkeld tot het lage vermogen van 25 milliwatt en een gasverbruik beneden 12 liter per uur; zij kunnen de detectoren op 80K houden. Twee typen zijn afgebeeld in figuur 3.



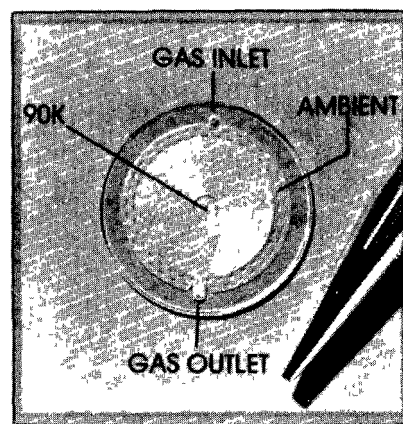
*Figuur 3 Micro-miniaturkoelers met laag gasverbruik
Boven: 25 mW netto bij 80K, 6 liter/uur stikstof
Midden: 50 mW bij 80K en 12 liter/uur
Beneden: stiftpotlood ter vergelijking.*

Gasfles inhoud	Begindruk bar	Bruikbare voorraad m ³	Koeltijd uren
cilinder 37 liter	175	3	275
idem:	420	12	1045
draagfles	420	0,1	9

Voor deze koelers geeft de tabel een indruk van hun gebruikstijd met gecompriëerde stikstof uit verschillende typen gasflessen.

Snelle koeling

Bij veel toepassingen is het snel kunnen koelen belangrijker dan een laag gasverbruik. Dit is het geval bij het koelen van IR-detectoren voor tactische wapens. Maar ook bij handelsinstrumenten waar het gebruik onderbroken is of van korte duur; bijvoorbeeld een IR-camera als deze wordt gebruikt voor het snel opsporen van hete plaatsen in installaties, gebouwen, transportleidingen en dergelijke. Figuur 4 toont een type voor een snelle koeling. Het koelt binnen 5 seconden een kleine, enkelvoudige detector op 90K met behulp van argon onder een druk van 250 bar, bij een gasverbruik van ongeveer 340 liter per uur.



*Figuur 4 Type voor snelle koeling; koelpunt in het midden en warmte-wisseling radiaal naar buiten.
Rechtsbeneden: stiftpotlood ter vergelijking*

Vacuümcapsule

De meeste micro-miniaturkoelers vereisen tijdens bedrijf een vacuüm van 5×10^{-3} torr (= 6,67 μ bar) en moeten daarom worden ondergebracht in een omhulling

Bij veel toepassingen is evacueren met een mechanische pomp niet acceptabel "NMR" [2] heeft capsules ontwikkeld die 6 tot 12 maanden het vacuüm beneden 10^{-3} torr (= 1,33 μ bar) houden. Een volgende periode kan dan weer beginnen door het activeren van een ingebouwd getter. Het hergebruiken kan doorgaan tot het getter is uitgeput; normaal is zes tot tien keer mogelijk.

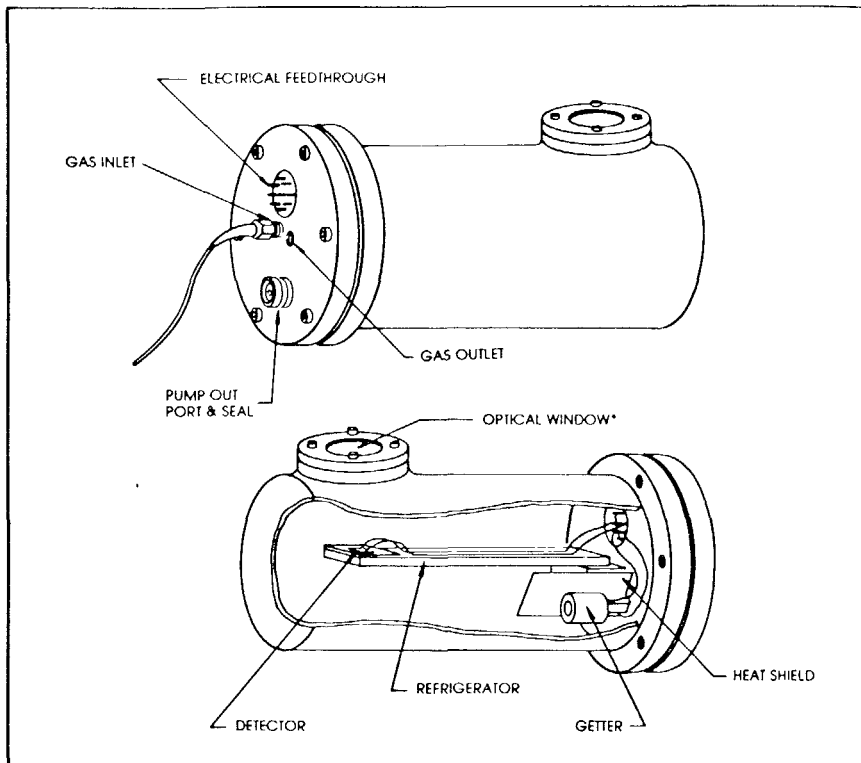
Een prototype is geschetst in figuur 5. De elektrische doorvoeren, de in- en uitlaten voor het gas en een vacuümaansluiting zijn vacuümgelast in een flens. De koeler, tezamen met het getter/warmteschild wordt later op de flens gemonteerd, dichting van flens en mantel geschiedt met een O-ring.

De aanvangspompencyclus bestaat uit het uitstoken op 100°C en pompen tot 10^{-6} torr (= 1,33 nbar), gevolgd door het activeren van het getter en het dichten van de pompaansluiting

Het getter is van een niet-verdampend type en wordt actief bij 800°C; koeler en detector zijn beschermd door het hittedeksel en lopen geen gevaar bij het activeren.

De detector kan òf rechtstreeks zijn gemonteerd op de koeler, òf op een onderlaag met goede warmtegeleiding verbonden met het koude einde van de koeler.

Dit type omhulling is één of meer keren kleiner dan dubbelwandige vacuümmantels



Figuur 5 Vacuümcapsule

Referenties

- [1] Beiden van MMR-Technologies (Micro Miniature Refrigerator), Mountain View, Californie
- [2] Oprichter van MMR-Technologies
- [3] (1978) Scaling of miniature cryocooler to microminiature size Proc NBS Cryocooler Conf Publ 508, p 75
(1978) Design and construction of microminiature cryogenic refrigerators Proc APS Conf Future Trends in Superconducting Electronics Publ 44, p 421

(1980) Progress in the development of microminiature refrigerators using photolithographic fabrication techniques Proc NBS Conf Refrigeration for cryogenic Sensors and Electronic Systems Publ 607, p 160

(1980) Design considerations for microminiature refrigerators using laminar flow heat exchangers Proc NBS Conf Refrigerators for Cryogenic Sensors and Electronic Systems Publ 607, p 154

Boekbespreking

Materiaalkunde A

B.F.M. Beumer

In de serie Educaboek (Stam Technische Boeken) is de 8e druk van Materiaalkunde A verschenen. (Ondertitel: "Algemene beginselen metalen"), geschreven en herzien door B.F.M. Beumer.

Dit eerste deel van de driedelige, reeds sedert 1963 bestaande serie is bestemd voor het eerste leerjaar MTS afd. werktuigbouwkunde, voertuigtechniek en procestechiek.

Na de in 1978 verschenen 7e druk, is deze

nieuwe uitgave qua uiterlijk een verrassing. De uitgever stak het boek in een geheel nieuw jasje. Het kleurrijke omslag is versierd met schetsen waarmee het smeltingieten-walsen en smeden van metalen wordt aangegeven, onderwerpen uiteraard die in het boek worden behandeld.

De in de tekst opgenomen tekeningen zijn (druktechnisch) vernieuwd en de lay-out van het boek is zeer overzichtelijk

De in de tekst opgenomen goed opvallende samenvattingen na elk onderdeel zullen het de student gemakkelijk maken de stof als herhaling door te nemen

Hoewel de tekst geheel herzien is, is de vorige druk ook in dit boek duidelijk te herkennen. De hoofdstukindeling is in grote lijnen gelijk gebleven.

De hoofdingeling is na een inleiding

- Materiaalbeproefing en onderzoek
- Fabricage en vormgeving van hoofdzakelijk de ferrometalen
- Eigenschappen en toepassingen van de ferro- en non-ferrometalen

- Corrosie (zeer overzichtelijk)

Iets te veel aandacht krijgt het overigens goede hoofdstuk materiaalbeproefing, iets te weinig het niet-destructieve materiaalonderzoek.

Zowel bij de fabricage als de toepassingen worden enkele moderne materialen, (bijv. nodulair gietijzer) wat onderbelicht. Helaas komen op een aantal plaatsen in de tekst wat fouten en onduidelijkheden voor. Een groter aantal begeleidende illustraties, vooral bij de hoofdstukken vormgeving en toepassingen zou een goede aanvulling op het beschrijvende karakter van het boek kunnen zijn.

Een zeer uitvoerig opgavenboekje begeleidt deze uitgave. De grote hoeveelheid vragen zijn een uitdaging voor de student

Conclusie

Dit fraai en overzichtelijk boek zal ongetwijfeld voor de studenten van de MTS bruikbaar zijn, maar zal van de docent kritische begeleiding en toelichting vragen