

Het fabriceren van magneetkoppen op laboratoriumschaal*

J.P.M. Verbunt, Natuurkundig Laboratorium, Nederlandse Philips Bedrijven B V, Eindhoven

Magnetische registratie van informatie heeft een grote vlucht genomen. Op dit moment zijn de belangrijkste toepassingsgebieden geluid, beeld en computerdata. Ondanks de reeds bereikte successen blijft men zoeken naar verbeteringen die kunnen leiden tot kostenverlaging, kwaliteitsverhoging of zelfs geheel nieuwe toepassingen. Daarbij spelen de magneetkoppen die bij de registratie worden gebruikt, een belangrijke rol. In dit artikel gaat de auteur in op de fabricage daarvan. Omdat het hier koppen voor experimentele doeleinden betreft, is men aangewezen op fabricagetechnieken die geschikt zijn voor productie op kleine schaal.

Samenvatting

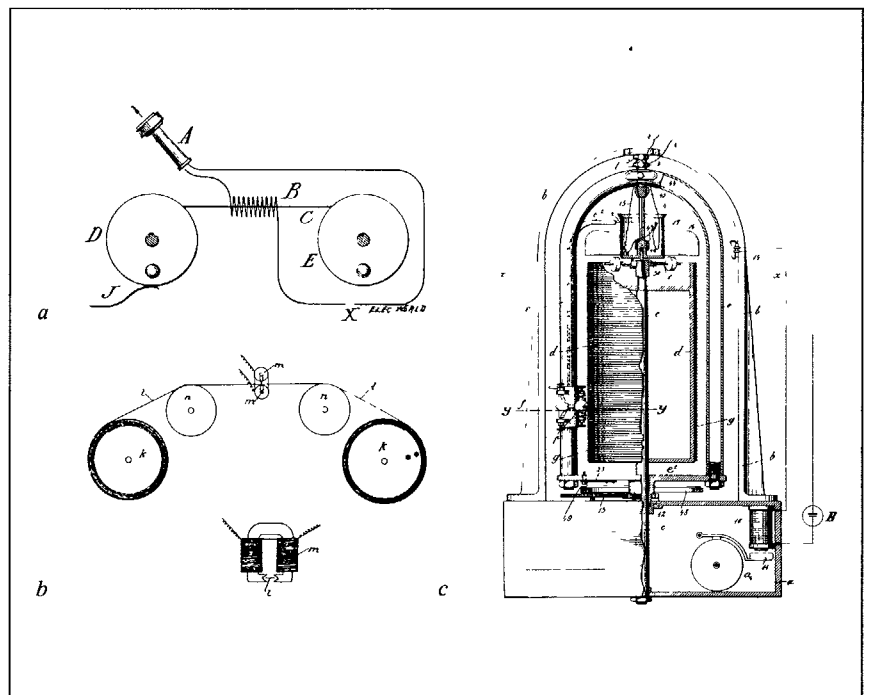
Zelfs een eenvoudige analyse van de principes van de magnetische registratie leidt al tot een aantal elementaire eisen die men aan een magneetkop moet stellen. Vooral de eigenschappen van het magnetische circuit en de afmetingen van de kopspleet, waarvan de lengte vaak slechts een fractie van een micrometer bedraagt, zijn belangrijk. De vraag naar steeds grotere informatiedichtheden heeft geleid tot een grote verscheidenheid in koppen (zoals de beklede-spleetkop, de sandwichkop, de breukspleetkop en de geprofileerde ferriet-met-glas-kop). Al deze koppen zijn bestemd voor zogenaamde longitudinale registratie. Daarnaast zijn er speciale koppen voor verticale registratie en dunne-filmkoppen bestemd voor meervoudige registratie. Om een indruk te geven van de soorten mechanische bewerkingen die voorkomen bij de koppenfabricage, wordt stapsgewijs de fabricage op laboratoriumschaal van een sandwichkop beschreven. Ook de toepassing van lasers bij de fabricage komt aan de orde. Tevens worden een aantal bijzondere eigenschappen van de breukspleetkop en de geprofileerde ferriet-met-glas-kop beschreven.

Inleiding

De uitvinding van de telefoon door Bell in 1876 vormde een grote stimulans voor het zoeken naar mogelijkheden om geluidsignalen vast te leggen op een of ander geheugenmedium. Reeds in 1877 kwam Edison met zijn beroemde fonograaf – een puur mechanische oplossing. De eerste beschrijving van een systeem waarbij gebruik

werd gemaakt van een elektrisch signaal, is afkomstig van ene O. Smith en verscheen op 8 september 1888 in "The Electrical World"⁽¹⁾. Smith stelde voor om een draad van een geschikt materiaal dat kleine stalen deeltjes bevatte, door het hart van een spoel te voeren. Als een microfoonsignaal door de spoel gestuurd werd, zou de draad

gemagnetiseerd worden, zie *figuur 1a*, volgens het patroon van de geluids-informatie. Afspeken kon vervolgens gebeuren door de gemagnetiseerde draad opnieuw door de spoel te voeren en de zo ontstane inductiestroom te beluisteren via een telefoon. De uitvinder beperkte zich echter tot papierwerk en heeft nooit een werkend apparaat gebouwd. Dat is voor het eerst gedaan door de Deen Valdemar Poulsen, die in 1898 ook het eerste octrooi daarop aanvraagde, zie *figuur 1b*, dat in 1900 gevolgd werd door een verbeterd en veel verder uitgewerkt Amerikaans octrooi, zie *figuur 1c*. In dat jaar vond op de wereldtentoonstelling te Parijs ook de eerste grote openbare demonstratie plaats. Het is heel opmerkelijk dat Poulsen in zijn Amerikaanse octrooi bij de moge-



Figuur 1 a Originele tekening van het oudste bekende voorstel voor magnetische registratie (1888). Er wordt hier een draad gebruikt als registratiemedium. Bij het symbool X bevindt zich tijdens het opnemen een gelijkstroombron. Over de weergave zegt de schrijver: "Bij X kan eventueel een of andere versterker, zoals een batterij, worden aangebracht, maar dit is nog niet verder uitgewerkt". Hier fungeerde de elektronica dus letterlijk als de ontbrekende schakel.

b Afbeelding uit het oorspronkelijke Deense octrooi van V. Poulsen (1898). Hier wordt een band gebruikt als registratiemedium.

c. In zijn eerste Amerikaanse octrooi (1900) stelde Poulsen voor om gebruik te maken van een stilstaande trommel waarop spiraalvormig een staaldraad was bevestigd als registratiemedium. De schrijf- en leeskop bevond zich op een drager in de vorm van een omgekeerde U, waarlangs hij in verticale richting kon bewegen. De gehele U-vormige drager maakte verder een ronddraaiende beweging om de trommel.

* Dit artikel is eerder geplaatst in Philips Technisch Tijdschrift 44 (1988) nr. 5.

lijke toepassingen als eerste expliciet het telefoonbeantwoordingsapparaat noemt. De nauwe relatie tussen de magnetische registratie en de telefonie blijkt trouwens ook uit de naam die men de eerste tijd bij voorkeur voor het magnetische-registratieapparaat gebruikte: de "telegraphoon". Uit deze telegraphoon is in de loop der jaren een grote verscheidenheid van toepassingen ontstaan, variërend van videocassetterecorders en zakspelers voor geluidscassettes tot schijf- en bandgeheugens voor grote en kleine computers.

Hoe verschillend de huidige apparaten bij een onderlinge vergelijking of bij een vergelijking met de oudste versies er ook uit mogen zien, er zijn steeds drie basiselementen te onderscheiden:

- de informatiedrager in de vorm van een geheel of gedeeltelijk magnetiseerbare draad, band, schijf of cilinder,
- de magneetkop, die de informatiedrager tijdens de opname magnetiseert ("beschrijft") en tijdens de weergave aftast ("uitleest"),
- het loopwerk, dat zorgt voor de juiste onderlinge bewegingen van informatiedrager en kop.

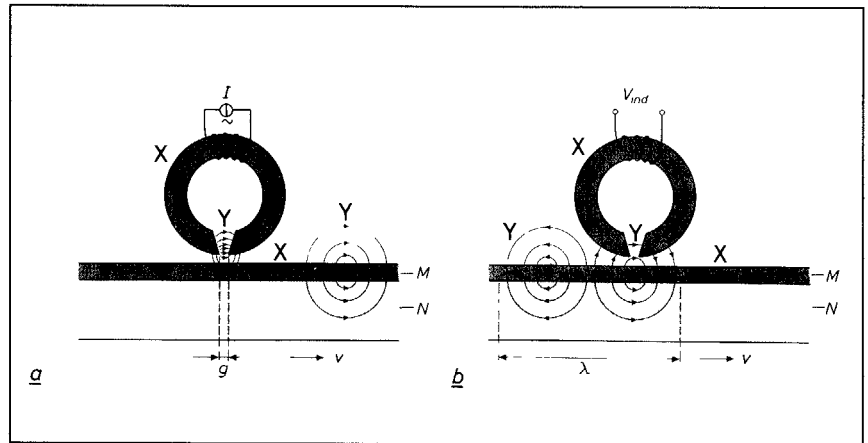
Bij de realisatie van deze drie basiselementen spelen steeds één of meer van de volgende vakgebieden een essentiële rol:

- de chemie, vooral de colloidchemie,
- de mechanica, vooral de fijnmechanica;
- de leer van het elektromagnetisme, vooral de magnetostatica en de magnetodynamica.

Daarnaast is tegenwoordig de elektronica voor de voor- en nabehandeling van de geregistreerde signalen van grote betekenis. Juist door deze verplechting van vakgebieden vormt de magnetische registratie zo'n interessant, maar soms ook wel moeilijk terrein.

Ondanks een zekere mate van volgroeiheid van bepaalde technieken vindt er nog steeds wetenschappelijk onderzoek plaats naar nog betere uitvoeringen van de verschillende basiselementen. Dit is onder meer gericht op het bereiken van grotere informatiedichtheden per eenheid van oppervlakte van de informatiedrager en op het beter afgestemd zijn op het registreren van informatie in digitale in plaats van analoge vorm. Dit laatste heeft te maken met het feit dat digitale signalen vaak slechts tweewaardig zijn en dat er andere eisen gelden voor bijvoorbeeld de signaal/ruis-verhouding bij weergave.

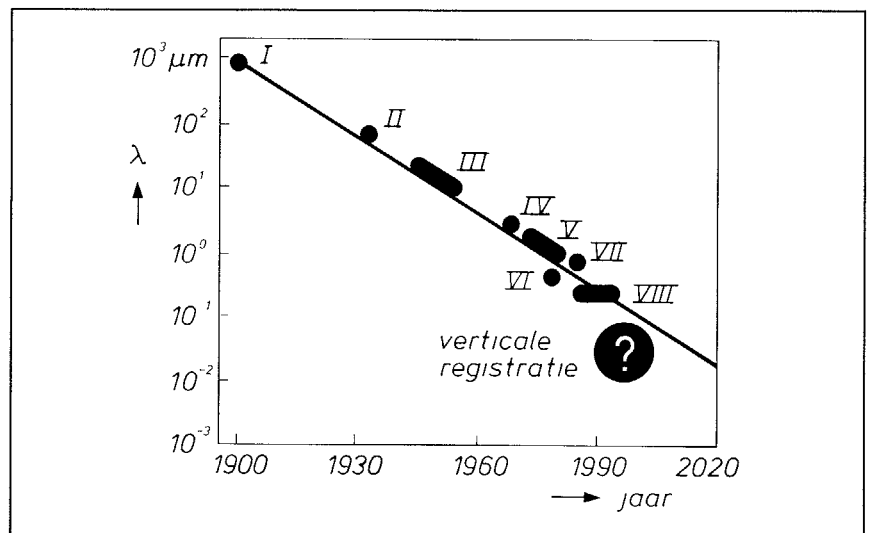
In dit artikel willen we een en ander illustreren aan de hand van de beschrijving van een aantal magneet-



Figuur 2 Principe van de magnetische registratie met behulp van een ringvormige schrijf- en leeskop

a Tijdens het opnemen wordt door een wisselstroom I in de kop een variërend magnetisch veld opgewekt, dat bij de kopspleet naar buiten treedt. Een registratiemedium dat zich langs deze spleet beweegt, wordt dan gemagnetiseerd volgens een patroon dat door I bepaald wordt.

b Tijdens weergave wordt het registratiemedium opnieuw langs de kop bewogen. Door de wisselende magnetisatie wordt dan in de kop een wisselend magnetisch veld opgewekt en over de spoel een wisselspanning V_{ind} geïnduceerd. Uit V_{ind} kan de geregistreerde informatie worden teruggewonnen. De magnetisatie-richting van de materialen is aangegeven met X-pijlen, de magnetische veldlijnen daarbuiten met Y-pijlen. M magnetiseerbare laag, N dragermateriaal van kunststof, v relatieve snelheid, g spleetlengte, λ golflengte van het geregistreerde magnetische patroon.



Figuur 3 Door het gebruik van steeds betere registratiemediën is de minimale golflengte van het magnetische patroon op de informatiedrager voortdurend kleiner en de informatiedichtheid dus groter geworden. Tot tot nu toe paste men voornamelijk longitudinale registratie toe, één van de mogelijkheden voor het verder opvoeren van de informatiedichtheid vormt wellicht de verticale registratie. I Pulsens stalen draad, II magneetband, III band voor spoelenrecorder, IV compact-cassette-band, V videorecorderband (Beta, VHS, V2000), VI videorecorderband (8 mm-metaal), VII band voor digitale video, VIII dunne metaalband.

koppen die in de afgelopen jaren voor experimentele doeleinden zijn gefabriceerd. Voor een goed begrip zullen we eerst een aantal basisbegrippen in vogelvlucht de revue laten passeren.

Basisbegrippen bij magnetische registratie

Bij magnetische registratie worden tegenwoordig nog steeds dezelfde principes^{[2][3]} gebruikt als in het allereerste

apparaat van Poulsen: een elektrische stroom die representatief is voor de informatie die vastgelegd moet worden, wordt door een spoel gestuurd; zie **figuur 2**. In de spoel bevindt zich een - meestal ringvormige - kern van magnetisch materiaal. Hierin wordt door de variërende stroom een variërend magnetisch veld opgewekt. Op een duidelijk gedefinieerde plaats is een onderbreking ("spleet") aangebracht,

waardoor het magnetische veld buiten de zogenaamde schrijfkop treedt en daar een informatiedrager – hier een band – kan magnetiseren. Op een later tijdstip kan de gemagnetiseerde informatiedrager langs een leeskop gevoerd worden, daarin wordt dan een variërende magnetische flux opgewekt, die op zijn beurt een elektrische spanning in de leesspoel induceert. Deze spanning stelt de oorspronkelijke informatie voor. In principe kan voor lezen en schrijven dezelfde kop gebruikt worden, het is ook mogelijk om voor het lezen niet het principe van de elektromagnetische inductie, maar b.v. het magneeto-weerstandseffect te gebruiken^{[4][5]}. Dan heeft de leeskop een afwijkende constructie.

Als de voorkeursrichting van de magnetisatie op de informatiedrager evenwijdig is aan de verplaatsingsrichting van de drager, spreekt men van longitudinale registratie. Dit is van oudsher de meest gebruikte vorm van registratie^[6]. In de loop van de tijd is de minimale golflengte λ (figuur 2b) daarbij een factor 10^3 à 10^4 kleiner geworden, waardoor een aanzienlijke vergroting van de informatiedichtheid is bereikt, zie figuur 3. Om nog hogere informatiedichtheden op de informatiedrager te bereiken zal men wellicht over moeten gaan naar verticale registratie ("perpendicular recording"), waarbij de voorkeursrichting van de magnetisatie loodrecht op het oppervlak van de informatiedrager staat.

De informatiedrager bestaat tegenwoordig meestal uit een dunne magnetiseerbare laag die zo homogeen mogelijk is aangebracht op een niet-magnetische onderlaag.

Zowel het magnetiseerbare deel van de informatiedrager als de kern van de magneetkop bestaan uit magnetisch

materiaal. De eigenschappen daarvan dienen echter sterk te verschillen. We kunnen dit laten zien aan de hand van de zogenaamde BH -kromme. Deze geeft aan hoe groot de magnetische inductie B is bij een gegeven magnetische veldsterkte H , zie figuur 4. Omdat de waarde van B niet alleen afhangt van de momentele waarde van H , maar ook van de voorgeschiedenis, heeft de BH -kromme de vorm van de bekende hysteresislus. Bij een toenemende waarde van H neemt ook B toe eerst relatief sterk (tot een bepaalde verzadigingsinductie B_s , waarbij "s" komt van saturatie) en daarna minder sterk. Als H nu weer afneemt tot nul, wordt B niet nul maar behoudt de waarde B_r ("r" van remanentie), om B tot nul te laten afnemen is een tegengesteld magnetisch veld nodig met een sterkte $-H_c$ ("c" van coercitie). Voor de magnetische laag van de informatiedrager wensen we een hoge waarde van B_r , omdat dan na het schrijven een sterke magnetisatie resulteert. Bovendien wensen we een hoge waarde van H_c , (figuur 4a), omdat dan een grote mate van ongevoeligheid bestaat voor de demagnetiserende werking van naburige delen van de informatiedrager en van eventuele stoorvelden. Van het materiaal voor de magneetkop eisen we een hoge waarde van B_s , maar verder een lage waarde van B_r en een lage waarde van H_c (figuur 4b) om te bereiken dat de momentele eigenschappen van de magneetkop zo weinig mogelijk afhankelijk zijn van eerder geschreven of gelezen signalen.

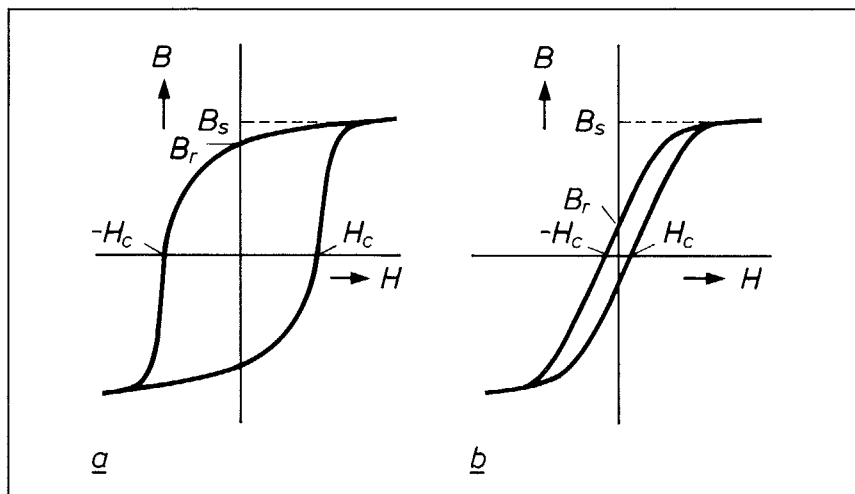
Uit magnetisch oogpunt is verder de spleet die zich in het magnetisch materiaal van de kop bevindt, van uitermate groot belang. Daar vindt immers de magnetische koppeling plaats tus-

sen de kop en de informatiedrager (zie ook figuur 2). Tijdens het schrijven zorgt het strooiveld ("fringing field") bij de kopspleet ervoor dat de informatiedrager gemagnetiseerd wordt, tijdens het lezen dient een zo groot mogelijk deel van het uitwendige magnetische veld van de informatiedrager het magnetische circuit van de kop te volgen en zo weinig mogelijk via de spleet "kortgesloten" te worden. Om dit allemaal goed te laten verlopen gebruikt men voor de kop een materiaal met hoge relatieve magnetische permeabiliteit (μ_r) en maakt men de doorsnede van de kop op de plaats van de spleet (A_g) kleiner dan de doorsnede van de rest van het magnetische circuit (A_m).

De spleetafmetingen

Zeer belangrijk voor de eigenschappen van een magneetkop is de lengte g van de spleet^[7], zie figuur 2a. Het blijkt namelijk dat de spleetlengte één van de belangrijkste factoren is die bepalen wat de hoogste signaalfrequentie is die nog goed verwerkt kan worden bij de magnetische registratie, daarbij stelt het leesproces nog zwaardere eisen dan het schrijfproces. Om dit duidelijk te maken bekijken we nogmaals figuur 2. Als we een signaalfrequentie van f Hz registreren en de informatiedrager (zeg. een band) zich verplaatst met een relatieve snelheid van v m/s ten opzichte van de magneetkop, dan wordt er op de band een periodiek magnetisch patroon geschreven met een golflengte λ die volgt uit $\lambda = v/f$ m.

Bij het schrijfproces is niet het magneetveld over de gehele spleetlengte in gelijke mate bepalend voor de magnetisatie van de band ná het passeren van de kop, maar vooral het magneetveld aan het eind van de spleet (de "trailing edge"). Tijdens het leesproces speelt juist de spleet over zijn gehele lengte mee. Als de golflengte van het magnetische patroon op de band precies gelijk is aan de spleetlengte, bevinden beide uiteinden van de spleet zich voortdurend tegenover plaatsen op de band met gelijke magnetisatie. Dan wordt er in de leeskop geen variërende magnetische flux en dus geen inductiespanning opgewekt. De overeenkomstige signaalfrequentie wordt dus niet door de leeskop gedetecteerd en hetzelfde geldt voor elk geheel veelvoud van deze frequentie. Om een zo groot mogelijke informatiedichtheid (overeenkomend met een zo klein mogelijke λ) te bereiken wil men dus ook een zo klein mogelijke spleetlengte realiseren. Verder spreekt het voor zichzelf dat een verkleining van de spleetbreedte ook kan leiden tot vergroting van de maximale informatie-



Figuur 4 Magnetische materialen kunnen gekarakteriseerd worden met een BH -kromme of hysteresislus, waarbij H de uitwendige magnetische veldsterkte (in A/m) en B de magnetische inductie (in T) is. Voor een magnetische informatiedrager wil men graag hoge waarden voor B_r en H_c , zoals bij (a), en voor het magneetkopmateriaal graag een hoge waarde van B_s en lage waarden van B_r en H_c , zoals bij (b).

dichtheid per eenheid van oppervlakte van de informatiedrager: hoe kleiner de spleetbreedte (of "spoorbreedte") des te meer "sporen" kan men naast elkaar kwijt op een gegeven oppervlak van de informatiedrager

Typen magneetkoppen

De consequenties van hetgeen in de vorige paragrafen is gezegd voor de vorm van magneetkoppen, kan men zien aan de schetsen van *figuur 5*. Deze figuur toont twee relatief moderne magneetkoppen. Uitwendig hebben die ongeveer dezelfde afmetingen ($0,2 \times 3 \times 3$ mm). De kop van *figuur 5a* is gemaakt van het magnetisch materiaal MnZn-ferriet en is gebruikt in het V2000-systeem en het VHS-systeem voor het registreren van analoge videosignalen. De kop van *figuur 5b* is eveneens gemaakt van MnZn-ferriet en heeft niet alleen een veel kleinere spleetlengte maar ook een veel kleinere spleetbreedte, nl. $10 \mu\text{m}$ in plaats van $23 \mu\text{m}$, waardoor een smaller magnetisch spoor geschreven kan worden. Deze kop is be-

stemd voor de registratie van digitale videosignalen. Door het gebruik van een smaller spoor vindt men bij weergave zowel een zwakker nuttig signaal als een zwakker achtergrondruis-signaal; beide nemen echter niet in gelijke mate af: elke halvering van de spoorbreedte leidt principieel tot minimaal 3 dB verslechtering van de signaal/ruis-verhouding.

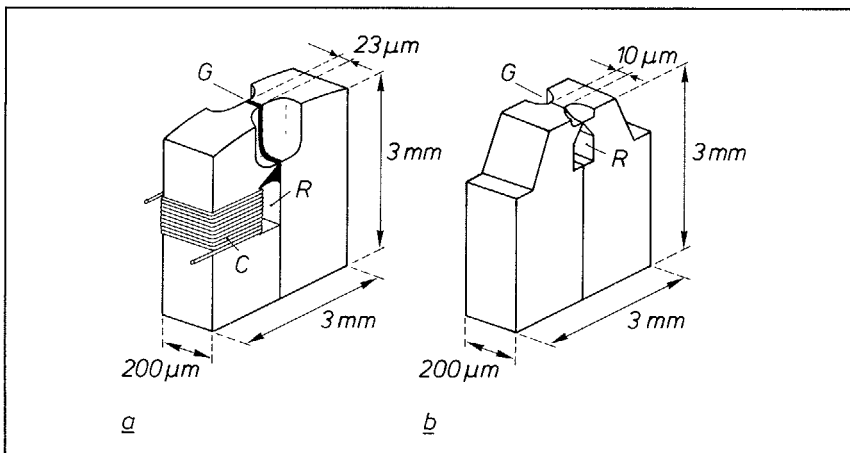
Met het verkleinen van de spleetbreedte wordt het ook mogelijk om meervoudige koppen te maken, waarmee een aantal magnetische sporen gelijktijdig maar onafhankelijk van elkaar op een informatiedrager geschreven kunnen worden. Dit soort technieken ligt vooral voor de hand bij de registratie van digitale signalen, waar gemakkelijk een aantal parallelle (binaire) signalen verkregen kan worden. Soms vindt men echter ook toepassingen voor analoge signalen.^[5] Deze meervoudige koppen worden vaak gemaakt met behulp van fotolithografische processen zoals ook bij de fabricage van geïntegreerde schakelingen worden gebruikt. Men spreekt dan

wel van "dunnefilm-koppen". Een voorbeeld hiervan is te zien in *figuur 6*. Men moet zich hierbij voorstellen dat de informatiedrager zich verplaatst in de richting loodrecht op het vlak van de foto. In dit artikel zullen wij ons verder niet met meervoudige koppen bezighouden.

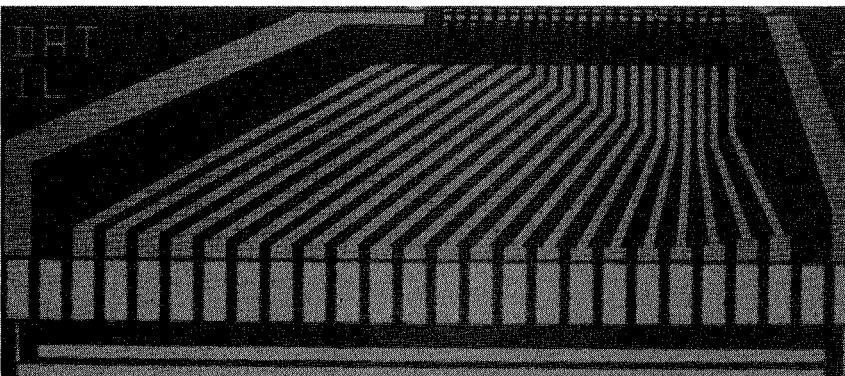
Een van de maatregelen die mogelijk is om de informatiedichtheid bij magnetische registratie te vergroten, is het verhogen van de coercitie van het magnetische materiaal van de informatiedrager. Om een materiaal met een hogere coercitie te beschrijven is echter een hogere verzadigingsinductie van het kopmateriaal vereist, zeker dicht bij de spleet^[8], waar de doorsnede van het magnetische materiaal kleiner wordt en dus de magnetische inductie B toeneemt. Daartoe maakt men bij Philips aan weerszijden van de spleet gebruik van b.v. NiFe en een Fe-Al-Si-legering (ook wel aangeduid als "Sendust"), terwijl de rest van het magnetische circuit uit ferriet bestaat. De verzadigingsinductie bedraagt dan 0,8 T à 1,0 T in vergelijking met 0,5 T voor MnZn-ferriet. Een magneetkop die volgens dit principe gemaakt is, is geschetst in *figuur 7a*. Men noemt dit type kop een *beklede-spleetkop* ("metal-in-gap head")^[9].

Een andere manier om een magneetkop voor informatiedragers met hoge coercitie te verkrijgen is aangegeven in *figuur 7b*. Het gaat hier om een zogenaamde "sandwichkop", waarin de dikte van het magnetische circuit overal beperkt is tot slechts $18 \mu\text{m}$. Deze magnetische laag bestaat uit een amorf lint van een Fe-Co-legering met een verzadigingsinductie van 0,8 tot 1,0 T. Hij is opgesloten tussen twee - veel dikkere - delen van niet-magnetisch materiaal. Op de fabricage van sandwichkoppen zullen we in de volgende paragraaf nader ingaan.

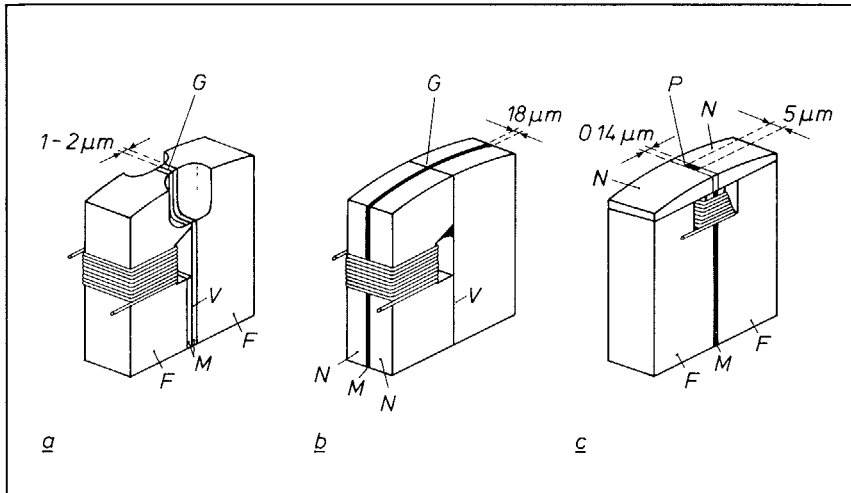
Eerst willen we echter nog een magneetkop tonen die in de toekomst een belangrijke rol kan gaan spelen bij het verhogen van de informatiedichtheid door toepassing van verticale registratie. Daarbij wordt de informatiedrager (zoals we al eerder gezegd hebben) gemagnetiseerd in de richting loodrecht op het oppervlak van de informatiedrager. De magneetkop die daarvoor nodig is, vormt niet langer een bijna geheel gesloten circuit; in het voorbeeld van *figuur 7c* heeft het magnetische circuit van de kop eerder de vorm van de letter W die aan de bovenkant is afgedekt met een niet-magnetisch bovenblok. Een dergelijke magneetkop noemt men een enkelpoolskop ("single-pole head"); hij vereist speciale typen informatiedragers. Het onderzoek naar verticale registratie is momenteel nog in volle gang.^[10]



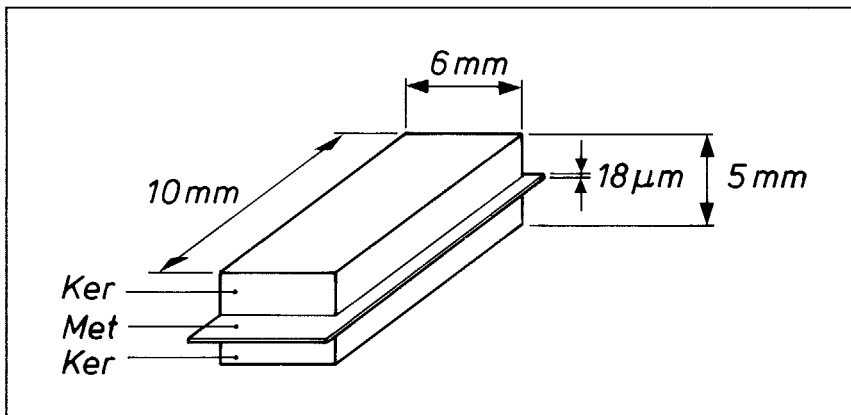
Figuur 5 Twee voorbeelden van moderne magneetkoppen voor het registreren van videosignalen. *a*. Magneetkop bestemd voor analoge videosignalen en gebruikt in het V2000-systeem en het VHS-systeem. *b*. Magneetkop bestemd voor digitale videosignalen. Deze kop heeft een spleet G met nog kleinere lengte en breedte R spoelkamer (Voor de duidelijkheid is de spoel C hier weggelaten).



Figuur 6 Voorbeeld van een 22-spoors magneetkop van het type dunnefilm-kop. Bij de fabricage hiervan wordt gebruik gemaakt van dezelfde soort technieken als men gebruikt om halfgeleiderchips te produceren. Van de hier afgebeelde kop bedraagt de afmeting in horizontale richting slechts ongeveer 5 mm.



Figuur 7 Drie typen magneetkoppen die ontworpen zijn voor het realiseren van een hogere informatiedichtheid per eenheid van oppervlakte van de informatiedrager. Ze hebben dezelfde buitenafmetingen als de koppen uit *figuur 5* ($0,2 \times 3 \times 3$ mm). *a* Bekleedspleetkop. *b* Sandwichkop. *c* Magneetkop voor verticale registratie. De koppen bij *(a)* en *(b)* zijn bestemd voor informatiedragers met een hoge coërcitie, deze koppen hebben daarom een hogere verzadigingsinductie (0,8 tot 1,0 T) dan gebruikelijk. De kop bij *(c)* heeft niet de bekende structuur van een bijna geheel gesloten magnetisch circuit met een nauwe spleet. Het magnetische circuit heeft ongeveer de vorm van de letter W en is afgedekt met twee niet-magnetische delen. Lezen en schrijven gebeurt hier met een zeer dunne zacht-magnetische staaf *P* (de "pool"), die zich tussen de beide niet-magnetische delen bevindt. *F* ferriet, *G* spleet, *M* magnetisch materiaal, *N* niet-magnetisch materiaal, *V* spleetvulmateriaal (niet-magnetisch).



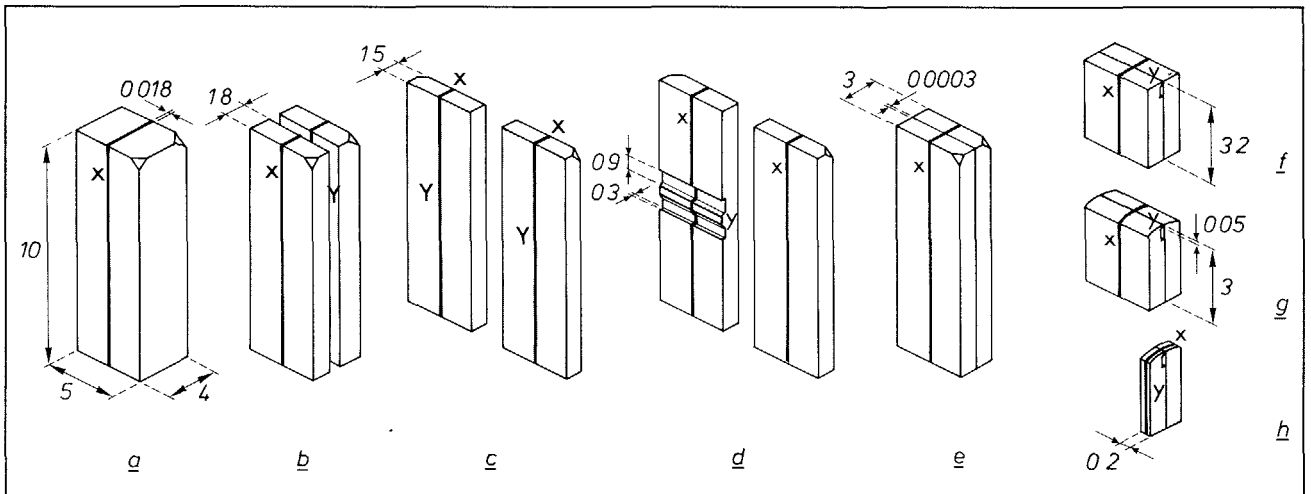
Figuur 8 Bij de fabricage van sandwichkoppen gaan we uit van een sandwichvormig materiaal dat bestaat uit een $18 \mu\text{m}$ dik metaallint *Met*, dat opgesloten zit tussen twee lagen keramisch materiaal *Ker*.

De fabricage van sandwichkoppen

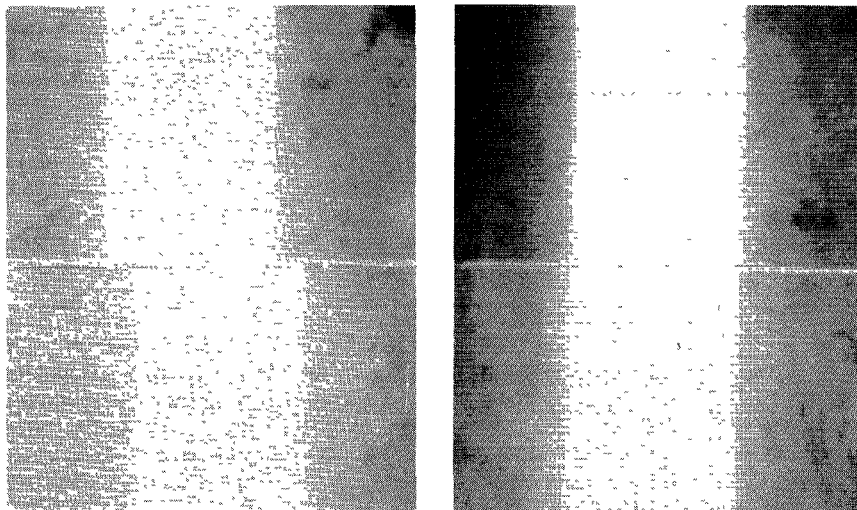
Om een indruk te geven van de aard en de nauwkeurigheid van de bewerkingstechnieken die gebruikt worden bij de fabricage van magneetkoppen, zullen we als voorbeeld het maken van een sandwichkop stap voor stap volgen. Als uitgangspunt dient een sandwichvormig materiaal dat bestaat uit een amorf metaallint van $18 \mu\text{m}$ dikte dat zich tussen twee lagen keramisch materiaal, zoals bariumtitaanaat, bevindt, zie *figuur 8*. Het metaallint is verkregen door een vloeibare metaallegering met als voornaamste bestanddelen kobalt en ijzer op een sneldraaiend wiel te gieten ("melt spinning"). Daarbij ontstaat een lint met een dikte van slechts $30 \mu\text{m}$ dat als

gevolg van extreem snelle afkoeling een amorphe structuur heeft. Dit lint wordt met diamantpasta gepolijst tot de gewenste dikte van $18 \mu\text{m}$ is bereikt^[11]. Daarna wordt het lint aan weerszijden van een $0,15 \mu\text{m}$ dikke kwarts laag voorzien om een goede hechting mogelijk te maken en vervolgens met epoxylijm tussen de twee keramiekdelen gelijmd^[12]. De lijmspleet die daarbij is toegestaan, is maximaal $1 \mu\text{m}$. Uit het aldus verkregen basismateriaal van ongeveer $5 \times 6 \times 10$ mm worden vervolgens via een flink aantal mechanische bewerkingen twee sandwichkoppen van $0,2 \times 3 \times 3$ mm gemaakt. Verschillende tussenresultaten van de opeenvolgende bewerkingsstappen

zijn in *figuur 9* schematisch weergegeven. Om de rafelige randen van het metaallint te verwijderen en tot nauwkeurig gedefinieerde buitenafmetingen te komen wordt het uitgangsmateriaal allereerst geslepen. Om positioneringsfouten bij latere bewerkingen te voorkomen worden bovendien twee facetten aangebracht; zie *figuur 9a*. Daarna wordt het blokje doormidden gezaagd met een zaagsnede van minder dan $0,4$ mm, zie *figuur 9b*. De plaats van de zaagsnede komt overeen met de plaats waar later de kopspleet komt. Verder is dit doorzagen nodig om ruimte voor de kopspleet (de "spoelkamer") te kunnen maken. De twee zo verkregen helften worden op dikte ($1,5$ mm) geslepen en gepolijst met extreem hoge nauwkeurigheid. De vlakheid moet beter zijn dan $0,1 \mu\text{m}$ en de ruwheid minder dan $0,02 \mu\text{m}$; zie *figuur 9c*. Daarna worden met een geprofileerde zaag in één van beide helften twee spoelkamers aangebracht, zie *figuur 9d*. Nu kunnen de twee helften weer tot één geheel gecombineerd worden, wat ook weer met zeer hoge nauwkeurigheid moet gebeuren, zie *figuur 9e*. De dikte van de verbindingslaag is immers precies gelijk aan de lengte van de magnetische spleet van de uiteindelijke kop (die hier dus niet met lucht is gevuld). De verbindingslaag moet daarom $0,3 \mu\text{m}$ dik zijn met een tolerantie in de orde van grootte van $0,01 \mu\text{m}$. Voor het samenvoegen kan men gebruik maken van epoxylijm of kan men thermocompressie toepassen met molybdeen als hechtlaag en goud als (niet-magnetisch) verbindingsmetaal. Bij deze bewerking moet er trouwens ook voor gezorgd worden dat het metaallint in beide samenstellende helften goed op elkaar aansluit. *Figuur 10a* laat in bovenaanzicht een foto zien van een voorbeeld waarbij dit niet het geval is, *figuur 10b* voldoet wel ruim aan de eisen. Men herkent hier duidelijk het metaallint (verticaal, $18 \mu\text{m}$ breed) en de kopspleet (horizontaal, $0,3 \mu\text{m}$ dik), die in dit geval uit laagjes Mo en Au bestaat. Uit het nu ontstane blokje kunnen op vrij eenvoudige wijze twee balkjes gezaagd worden (zie *figuur 9f*) die elk één kop zullen gaan vormen. Eerst wordt aan elk van beide een radius gepolijst (zie *figuur 9g*) op een buspolijstmachine met behulp van diamant als polijstmiddel en een glycol/alcoholmengsel als smeermiddel. Hiermee wordt een oppervlakteruwheid van minder dan $0,02 \mu\text{m}$ gerealiseerd. Tot slot volgt nog een dubbele zaagbewerking waarbij de breedte van de kop op $200 \mu\text{m}$ wordt gebracht, zie *figuur 9h*. Het is belangrijk dat er daarbij zo weinig en zo klein mogelijke uitbrok-



Figuur 9 Uitgaande van het basismateriaal van *figuur 8* wordt na een groot aantal opeenvolgende bewerkingen een sandwichkop vervaardigd (alle maten in mm). Het amorfmetaallint dat de magnetische laag in de sandwichkop vormt, is steeds met de letter X aangegeven, de oppervlakken die bij de verschillende bewerkingen centraal staan, zijn aangegeven met Y. *a*, Slijpen en facetteren, *b*, doormidden zagen, *c*, slijpen en polijsten, *d*, spoelkamer slijpen, *e*, samenvoegen, *f*, zagen, *g*, rond polijsten, *h*, zagen



Figuur 10 Aan het samenvoegen van *figuur 9e* worden hoge eisen gesteld, de gouden verbindingslaag vormt de latere kopspleet en de afmeting ($0,3 \mu\text{m}$) daarvan is uiterst belangrijk. Eveneens van groot belang is het goed op elkaar aansluiten van het metaallint (van $18 \mu\text{m}$) in beide kop helften. Hier ziet men in bovenaanzicht voorbeelden waarbij dat niet (*a*) en waarbij dat wel (*b*) goed gelukt is.

lingen ontstaan. Om dat te bereiken gebruiken we zeer dunne ($< 200 \mu\text{m}$) diamantzagen.

Hiermee zijn de meest kritische bewerkingen voltooid, alhoewel de kop nog niet klaar is: er moet nog een spoel door het spoelkamergat gewikkeld worden, de kop moet nog op een kophouderplaatje gelijmd worden, de spleethoogte moet nog op de juiste waarde worden gebracht (ca. $35 \mu\text{m}$) door middel van polijsten en de kop moet nog "inlopen". Bij deze laatste twee bewerkingen worden de onregelmatigheden en scherpe kanten verwijderd die nog overgebleven zijn van alle voorgaande bewerkingen. Het uiteindelijke resultaat is te zien in *figuur 11*. *Figuur 11a* toont een kant en klare kop, inclusief de spoelen (te herkennen aan de twee aansluitdraden) en

kophouderplaat. *Figuur 11b* toont tenslotte een detailopname van de spoelkamer (zonder spoelen). De kopspleet is hier nauwelijks waarneembaar. Hij is gevuld met epoxylijm, die zich uitstrekt tot in de (scherpe) hoek van de spoelkamer.

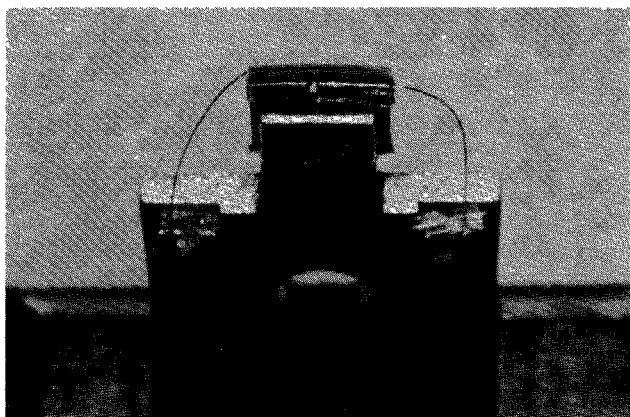
Laserbewerkingen

In de voorgaande paragraaf hebben we laten zien hoe bewerkelijk de fabricage van een magneetkop kan zijn. Dit geldt echter niet voor alle typen koppen, al kan men altijd wel minstens een aantal van de bewerkingstappen uit *figuur 9* herkennen. Vooral bij de productie van grote series is een vereenvoudiging van het bewerkingproces een absolute voorwaarde. Het gebruik van speciale lasers, die een voldoende groot vermogen bij een vol-

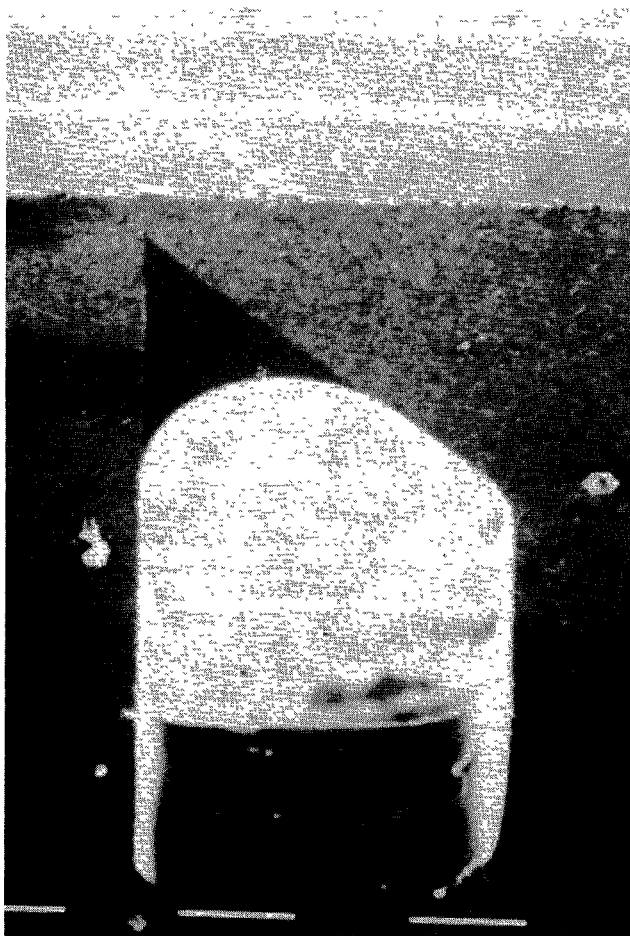
doend kleine golflengte kunnen leveren (zoals YAG-lasers), kan daarvoor een oplossing bieden. Met dergelijke lasers kan men heel goed ferriet snijden of boren en hetzelfde geldt voor bepaalde materialen die men bij koppen voor verticale registratie toepast, zoals bariumtitaanaat en zirconoxide. Helaas zijn glas en glaskeramik niet goed met een YAG-laser te bewerken. De resultaten van laserbewerking kunnen we illustreren met behulp van *figuur 12*. Daar is een kop te zien die uitsluitend uit ferriet bestaat en die met dit soort technieken verkregen is. In *figuur 12a* kijken we naar de kop vanuit de positie van de informatiedrager. Duidelijk ziet men hier de ver-smalling die met een laser is aangebracht om de spoorbreedte te verkleinen, de kopspleet is ook goed te herkennen. *Figuur 12b* toont een opname vanuit de spoelkamer in de richting van de kopspleet. De ribbels in het oppervlak zijn een gevolg van de gepulste werking van de laser. De "vlokken" vertegenwoordigen materiaal dat na verdampen weer op het oppervlak is neergeslagen.

De breukspleetkop

Wij hebben verder met succes ook magneetkoppen voor videotoeepassingen gemaakt volgens een werkwijze die we de "breukspleet-methode" noemen^[13]. Daarbij zijn we uitgegaan van een massief plaatje ferriet met de standaardafmetingen ($0,2 \times 3 \times 3 \text{ mm}$) van een videokop. In dit plaatje is met behulp van een laser een gat gemaakt met de vorm van de spoelkamer. Vervolgens is door middel van een thermische schok vanaf de punt van de spoelkamer een breuk door het daarboven liggende oppervlak gemaakt. In de breuk is tenslotte lijm aangebracht



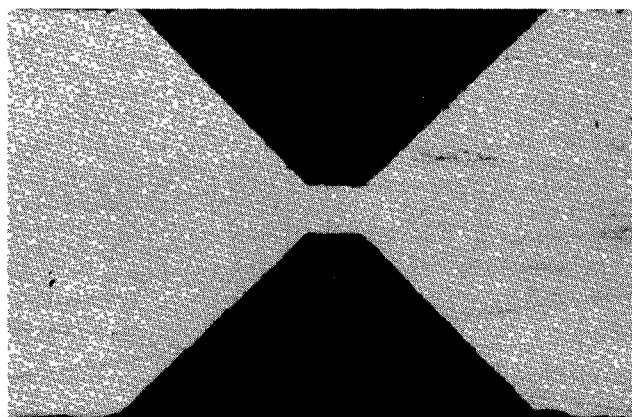
a



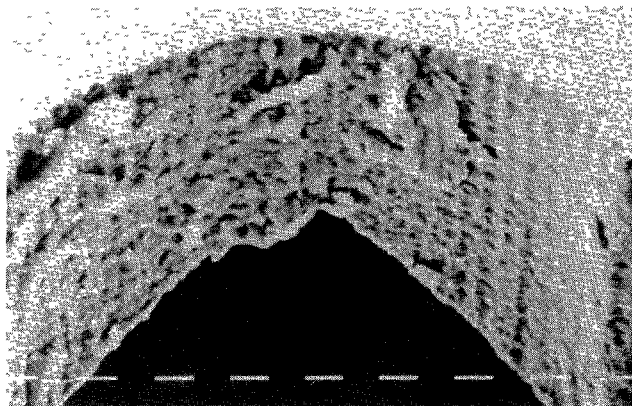
b

Figuur 11 a Complete sandwichkop inclusief de kophouderplaat, waarop hij gelijmd is. Doordat wij de kop onder een hoek van ongeveer 45° bekijken, is de hoogte perspectivisch verkort. Breedte en hoogte bedragen beide circa 3 mm. b Detailopname van de spoelkamer van een sandwichkop (zonder spoel). De scherpe hoek van de spoelkamer (rechtsboven) is gevuld met dezelfde epoxylijm als de kopspleet.

Figuur 13 Door een breukspleetkop (W) aan de zijkant te voorzien van een piezo-elektrisch element (X) verkrijgt men een kop waarvan op eenvoudige wijze de spleetlengte is te varieren. Het geheel is bevestigd op een kophouderplaat (Y), waarop zich ook twee geleidende stroken (Z) bevinden voor het maken van de elektrische aansluitingen.

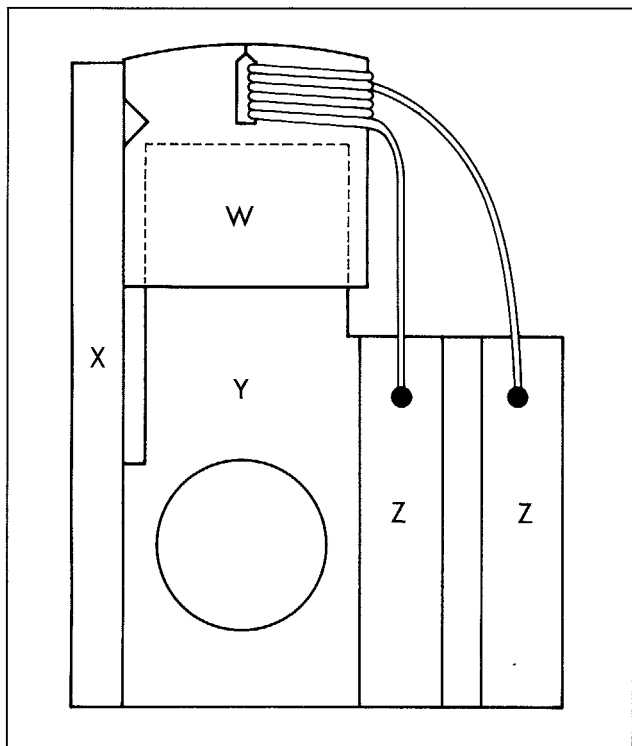


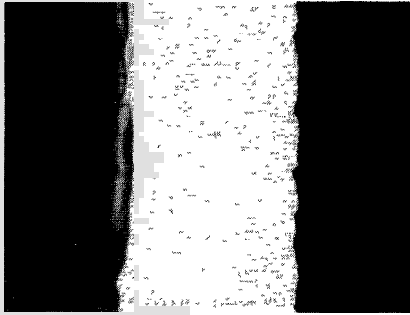
a



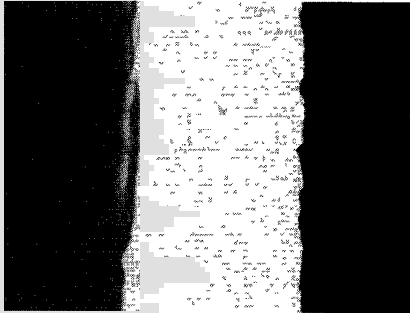
b

Figuur 12 Resultaten van laserbewerkingen. a Aanzicht van de kop vanaf de informatiedrager. Hier ziet men een plaatselijke vernauwing van de magneetkop, die bedoeld is om de spoorbreedte te verkleinen ten behoeve van digitale videoregistratie. De kopspleet is duidelijk te herkennen. b Aanzicht vanuit de spoelkamer in de richting van de kopspleet (1 maatstreepje = $1 \mu\text{m}$).

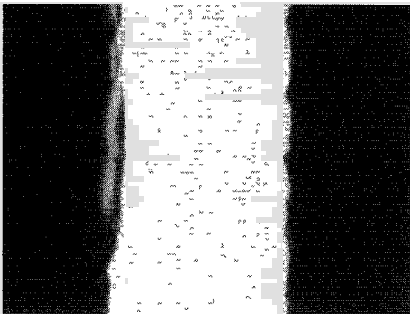




a



b



c

Figuur 14 Detailopnamen van de spleet van de breukspleetkop uit *figuur 13* bij verschillende spleetlengten *a* 0 μm , *b* 0,3 μm en *c* 0,5 μm

om een magnetische spleet te fixeren. Met deze techniek zijn koppen gemaakt die een betere signaal/ruisverhouding opleveren dan koppen die op traditionele wijze gemaakt zijn. Dit is vooral toe te schrijven aan het feit dat de overgangen in de magnetische eigenschappen bij de randen van de spleet nu abrupter zijn.

Door geen lijm in de spleet aan te brengen en de zijkant van de kop te voorzien van een inkeping konden wij een kop met variabele spleetlengte realiseren. Daartoe werd aan de zijkant van de kop een piezo-elektrische strip vastgelijmd, zie *figuur 13*. Door een elektrische spanning op deze strip aan te sluiten is de spleetlengte heel precies te variëren. In *figuur 14* zijn bij één en dezelfde kop spleetlengten te zien van 0, 0,3 en 0,5 μm .

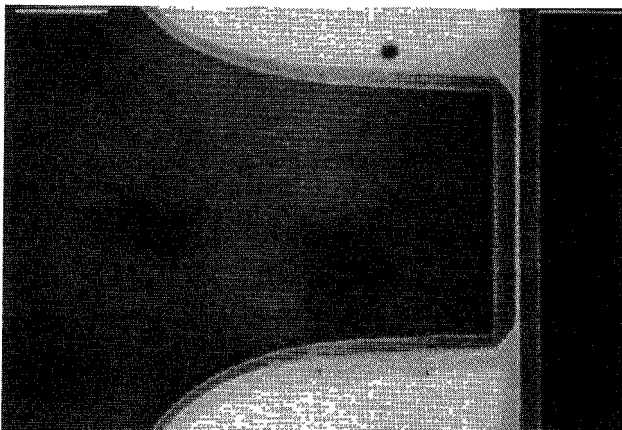
De geprofileerde ferriet-met-glas-kop

Als laatste onderwerp willen we een vrij nieuwe fabricagemethode beschrijven die leidt tot een geprofileerde ferrietkop, dat wil zeggen een kop waarvan de breedte ter plaatse van de spleet kleiner is dan in de rest van de kop. Als we eerst een beklede-spleetkop – zie *figuur 7a* – maken waarvan de breedte over de hele kop constant is, dan zouden we vervolgens de breedte ter plaatse van de spleet alsnog kunnen proberen te verkleinen b.v. door middel van laserbewerkingen. Het ferriet reageert echter heel anders op de laserenergie dan het metaal in en rond de kopspleet. Dit laatste bestaat uit twee lagen Sendust die via twee dunne laagjes NiFe aan het ferriet aansluiten en die door een laagje MoAu – dat als eigenlijke magnetische spleet fungeert – van elkaar gescheiden zijn. Afgezien van het feit dat de metalen

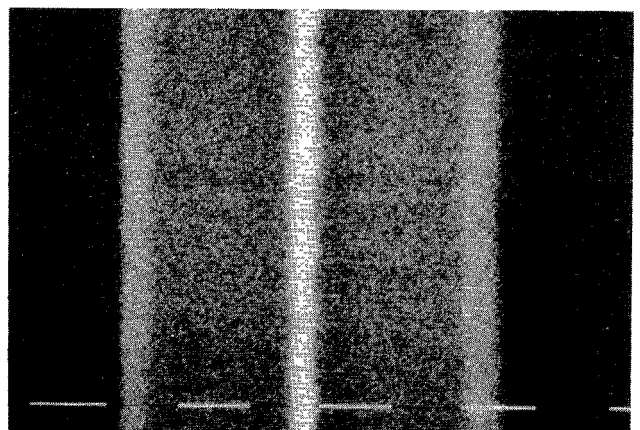
moeilijker te verwijderen vallen dan het ferriet, bestaat daarnaast het gevaar van “magnetische kortsluiting” doordat de twee lagen Sendust aan elkaar smelten. Daarom geven wij de voorkeur aan een andere werkwijze. Van de twee ferriethelften waaruit de kop wordt opgebouwd, wordt een van beide voorzien van een profiel dat precies de breedte heeft van de gewenste spleet. Vervolgens worden op beide kophelften een laagje NiFe en een laagje Sendust aangebracht door middel van verstuiven (“sputteren”) en daarop komt het gewenste metaal voor de spleetvulling^[9]. Daarna worden de kophelften samengevoegd en worden de open ruimten (naast de eigenlijke spleet) vanuit de spoelkamer opgevuld met een voldoende hard materiaal. Daarvoor hebben we laagsmeltend glas genomen waarvan de uitzettingscoëfficiënt zo goed mogelijk overeenkomt met die van ferriet. Door de aanwezigheid van dit materiaal wordt de verdere bewerking van de kop vergemakkelijkt en bovendien vermindert de slijtage tijdens het latere gebruik. Met deze werkwijze zijn hele goede resultaten bereikt. *Figuur 15a* toont een deel van een dergelijke geprofileerde ferriet-met-glas-kop rond de spleet, in *figuur 15b* is een detailopname van de spleet te zien. Deze foto's tonen aan dat dit een zeer bruikbare fabricagemethode is.

Literatuur

- [1] M. Camras (red.), Magnetic tape recording (Benchmark papers in acoustics, Vol 20), Van Nostrand Reinhold Company, New York 1985
- [2] W. K. Westmijze, Het opneem- en weergeefproces bij de magnetofon, Philips Techn. T 14, 269-281, 1952
- [3] W. K. Westmijze, Studies on magnetic



a



b

Figuur 15 Bij de geprofileerde ferriet-met-glas-kop is het magnetische circuit in de ene kophelft ter plaatse van de spleet aanmerkelijk smaller dan in de andere kophelft. Naast de vernauwing (midden boven en midden onder op de foto) is glas aangebracht. De kopspleet zelf is gevuld met MoAu. Aan weerszijden daarvan zit een laagje Sendust van ca. 2 μm dik dat door een heel dun laagje NiFe van het ferriet gescheiden is. Het geheel vormt dus een NiFe/Sendust-beklede-spleetkop. *a*: Opname van de magneetkop ter plaatse van de kopspleet, *b*: detailopname van de spleet (1 maatstreepe = 1 μm)

recording (proefschrift), gepubliceerd in zes delen in Philips Res Rep **8**, 148-157, 161-183, 245-255, 255-269, 343-354, 354-366, 1953 (Overdrukken van deze artikelen zijn ook te vinden in [1])

[4] W J van Gestel, F W Gorter en K E Kuyk, Uitlezen van magneetband met behulp van het magneto-weerstandseffect, Philips Techn T **37**, 43-51, 1977

[5] M G J Heijman, J H W Kuntzel en G H J Somers, Veel-spoors-magneetkoppes in dunnelaag-technologie, verschijnt binnenkort in dit tijdschrift

[6] Een nauwkeurige analyse van de magnetisatieprocessen die zich in en tussen kop en registratiemedium afspelen, is niet eenvoudig. In het verleden heeft men met succes inzicht hierin verkregen door met sterk vergrote schaalmodellen te werken. Zie

bijv. D L A Tjaden en J Leyten, Een model op schaal 5000:1 van het magnetische registratieproces, Philips Techn T **25**, 365-375, 1963 (Een overdruk van de Engelse tekst van dit artikel is ook te vinden in [1])

[7] De spleetlengte is de afmeting van de spleet in de richting waarin magneetkop en informatiedrager zich ten opzichte van elkaar tijdens het schrijven en lezen verplaatsen, de afmeting in de richting loodrecht op de informatiedrager heet de spleethoogte en de afmeting in de richting die loodrecht op de beide voorgaande staat, heet de spleetbreedte. De spleetbreedte zal bij de voorbeelden die nog volgen, meestal groter zijn dan de spleetlengte

[8] F J Jeffers, R J McCluife, W W French en N J Griffith, IEEE Trans **MAG-18**, 1146-1148, 1982

[9] C W M P Sillen, J J M Ruigrok, A Broese van Groenou en U Enz, Permalloy/Sendust metal-in-gap head, IEEE Trans **MAG-24**, nr 2, maart 1988

[10] V Zieren e a., Efficiency improvement of one-sided probeheads for perpendicular recording on double-layer media, IEEE Trans **MAG-23**, 2479-2481, 1987

[11] J.G. Siekman, Polishing of brittle amorphous alloy, Wear **117**, 359-374, 1987

[12] J P M Verbunt, Lamellar magnetic core utilizing low viscosity epoxy adhesive, U.S. Patent, nr 4 713 297 (15 december 1987)

[13] J P M Verbunt, Method of manufacturing magnetic head cores, European patent application 0221583 (ingediend 24 september 1986)

BCS en NKO gelijkwaardig

Op 19 september 1988 werd in Amsterdam de 'wederzijdse gelijkwaardigheidsverklaring' tussen de Nederlandse Kalibratie Organisatie (NKO) en de British Calibration Service (BCS), onderdeel van de National Measurement Accreditation Service (NAMAS), ondertekend door de heer P. Dean, directeur van het National Physical Laboratory (waaronder NAMAS ressorteert) en Ir J. M. de Wolf, hoofd-directeur van de Dienst van het IJkwezen (waar het uitvoerende werk van de NKO is ondergebracht).

De NKO en de BCS zijn organisaties die zijn ingesteld onder auspiciën van de Nederlandse, respectievelijk Engelse overheid en het bedrijfsleven. Ze beogen de kwaliteit van de metrologie (de kennis en praktische uitvoering van de meettechniek) te verbeteren en hebben de mogelijkheid erkenningen af te geven aan laboratoria waar metingen en kalibraties worden uitgevoerd. In deze erkenningen is precies omschreven voor welke metingen en tot welke nauwkeurigheden meetcertificaten onder de vlag van de betreffende organisatie mogen worden afgegeven. Deze certificaten zijn herkenbaar aan het logo van de organisatie die de erkenning heeft afgegeven. Op het ogenblik zijn er in Nederland 42 NKO-erkenningen van kracht; de BCS telt op het ogenblik ca. 200 erkenningen. Deze erkenningen hebben betrekking op de mechanische, geometrische, elektrische, fysische en chemische meettechnieken.

De nu ondertekende verklaring is de formele bevestiging dat BCS en NKO na grondig onderzoek van elkaars systemen tot de conclusie zijn gekomen dat certificaten die door laboratoria binnen deze organisaties zijn afgegeven, onderling gelijkwaardig zijn, zo-

dat van nu af NKO-certificaten in Engeland zullen worden geaccepteerd als waren het BCS-certificaten en BCS-certificaten in Nederland als waren het NKO-certificaten.

De Dienst van het IJkwezen (waar het uitvoerende werk van de NKO is ondergebracht) hoopt in de zeer nabije toekomst met nog enkele Europese landen dergelijke overeenkomsten te kunnen afsluiten.

In het kader van de open grenzen in 1992 is het van groot belang dat meetresultaten in de diverse landen met vertrouwen worden geaccepteerd.

Zo'n overeenkomst verandert vanzelfsprekend niets aan het functioneren van de erkenningsystemen, maar maakt enerzijds de erkenning voor de laboratoria waardevoller omdat ze nu gemakkelijker met hun certificaten over de grenzen kunnen, terwijl anderzijds de gebruikers van meetapparatuur een ruimere keus hebben uit erkende kalibratie-laboratoria.

De coördinatie van dergelijke wederzijdse gelijkwaardigheidsverklaringen vindt plaats binnen de Western European Calibration Cooperation (WECC), waarin een groot aantal West-Europese landen zijn verenigd (zowel landen die deel uitmaken van de EEG als landen uit de EFTA).

Nadere informatie over de NKO is te verkrijgen bij:
Nederlandse Kalibratie Organisatie
Schoemakerstraat 97
Postbus 654
2600 AR Delft
Telefoon 015 - 691534
(Mw Wubben)

Brochure over permanente magneten

Philips heeft een brochure uitgebracht

waarin het omvangrijke Philips productenprogramma op het gebied van permanente magneten wordt gepresenteerd. Het programma bestaat uit twee hoofdgroepen hard-ferriet-magneten en magneten van Neodure. De laatste groep bestaat uit zeldzame-aarde-magneten die de krachtigste ter wereld zijn. De brochure bevat de specificaties van 16 verschillende magnetische materialen, waaronder de maximale BH-waarden, die een gebied van 0,9 tot 216 kJ/m³ beslaan.

De twee hoofdgroepen kunnen worden onderverdeeld naar fabricage-technieken. Zo kunnen magneten gefabriceerd door middel van de kunststof-bondingstechniek zonder extra kosten in ingewikkelde vormen worden gemodelleerd. Daarentegen zijn ze niet zo sterk als gesinterde magneten. De aspecten waarin de productieprocessen van elkaar verschillen en de betekenis voor de client, worden uitvoerig belicht.

De 16 pagina's tellende kleurenbrochure 'Permanent magnets' geeft een overzicht van de vele toepassingen. Deze liggen onder meer in de auto-branchen, consumentenelektronica, gegevensverwerking, telecommunicatie en op industrieel gebied. Ook kwaliteitscontroleprocedures, materiaalspecificaties en klantensupport komen aan de orde. Er is een speciale sectie gewijd aan produktspecificatie die de vormen en de formaten van de verkrijgbare magneten betreft.

De (Engelstalige) brochure kan kosteloos worden verkregen en portvrij worden aangevraagd bij Philips Nederland, Philips Components, VB 4-23, Antwoordnummer 500, 5600 PB Eindhoven.

Verdere informatie,
Telefoon 040 - 783749