

Ook in onderzoek blink

**Tekst/Jim Heirbaut en Ivo Jongmsma
Grote foto/Bart van Overbeeke**

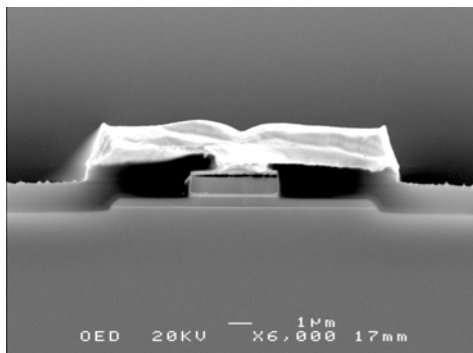
De bijzondere eigenschappen van goud bewijzen hun nut her en der ook in het onderzoek aan de TU/e. De goede elektrische geleidbaarheid voor het aanbrengen van contacten bij opto-elektronische componenten. Maar ook het ruwe oppervlak van nanometers grote gouddeeltjes, dat onverwacht toch actief bleek te zijn in het versnellen van bepaalde chemische reacties. De rode draad lijkt in ieder geval te zijn dat goud vooral in de nano- en micrometerwereld wordt toegepast.

Het ideale contact

Goud geleidt elektriciteit erg goed, ook bij hoge frequenties. Daarom wordt het materiaal gebruikt in de top lagen van contacten op opto-elektronische componenten. Voor de types halfgeleiders die in de groep Opto-Electronic Devices (OED) van de faculteit Elektrotechniek veel worden gebruikt, zoals indiumfosfide, is koper niet geschikt. Het kan namelijk de halfgeleiders in trekken en als verontreiniging de elektrische eigenschappen van de materialen ongunstig beïnvloeden. In de labs van de groep zijn koperen waterleidingen om die reden vermeden. Dunne laagjes goud worden vaak aangebracht met opdampen of sputteren. "Voor het verdikken van de ohmse contacten op halfgeleider-devices is *electroplating* met goud, een elektrochemisch bedekkingsproces, erg geschikt", zegt drs. Barry Smalbrugge van OED. "Deze contacten, waarbij de weerstand niet afhangt van de stroom die erdoor loopt, worden gevormd door een combinatie van titanium, platina en goud. Het goud zit erop voor de goede elektrische eigenschappen, ook bij hoge frequenties." Een goudlaagje kan echter nog andere functies hebben. Een dikke laag goud kan fungeren als *heat-sink*, die de warmte afvoert die ontstaat doordat in opto-elektronische componenten soms flinke stromen lopen. Ook worden voor de verbindingen van opto-elektronische naar elektrische componenten goudraadjes

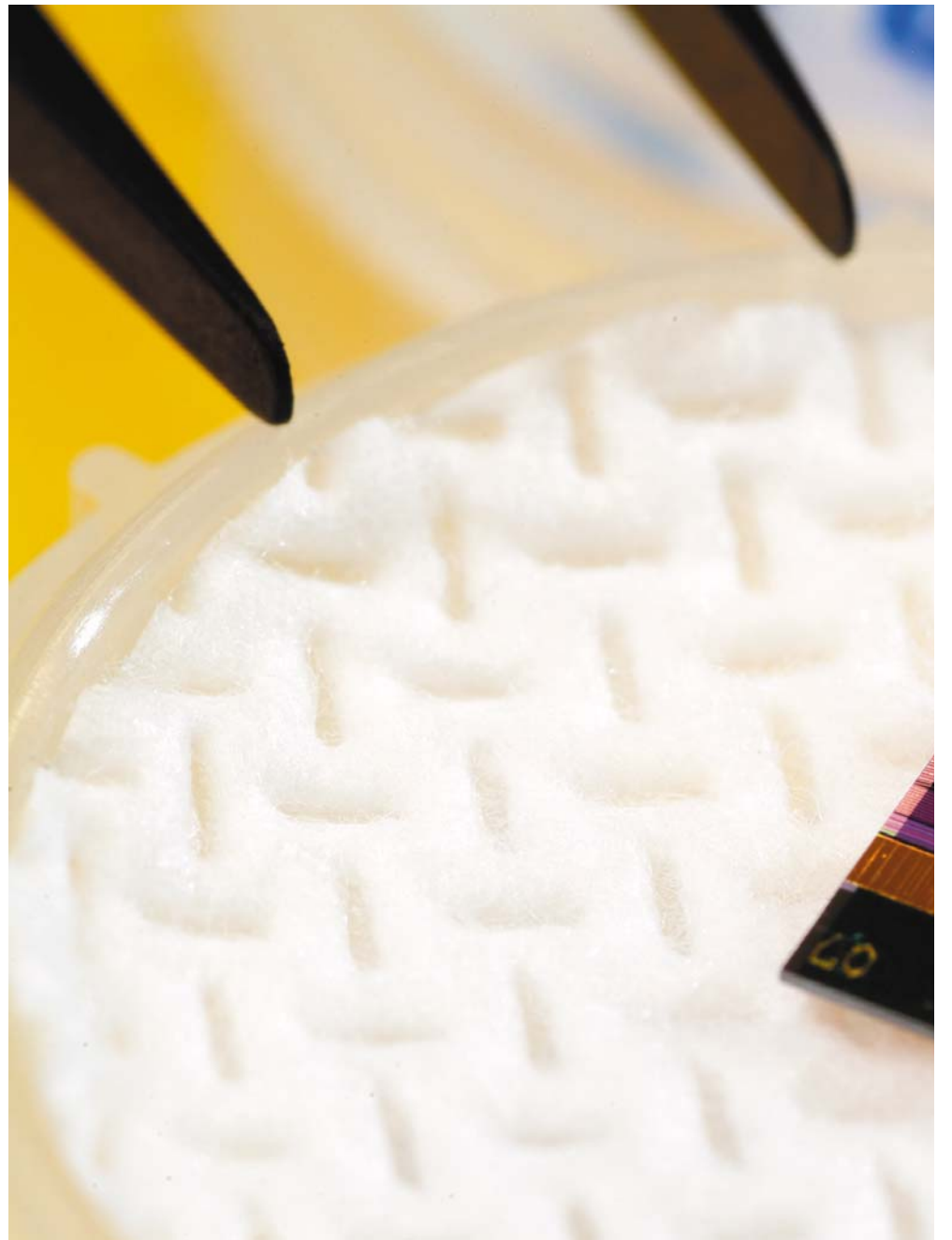


Bovenaanzicht van goudbandjes die verbindingen vormen tussen twee chips. Onder zijn drie geplaste oppervlakken te zien. Foto: Barry Smalbrugge



Dwarsdoorsnede van een RF-modulator met een goudlaagje dat met electroplating is aangebracht. Foto: Barry Smalbrugge

gebruikt. En onderdelen die niet mogen corroderen, worden vaak voorzien van een flinterdun goudlaagje. Bij het electroplating-proces hangt het substraat of onderdeel waarop het laagje goud moet komen, ondersteboven in een goudoplossing. Afhankelijk van de toepassing is er een patroon op aangebracht met behulp van een fotogevoelige laag. Het substraat is verbonden met de kathode, die op een negatieve potentiaal staat ten opzichte van de anode, die zich rondom het substraat bevindt. In de oplossing zijn positief geladen goudionen aanwezig, die aan het oppervlak samen met de aldaar



aangevoerde elektronen goudatomen vormen. Het laagje goud groeit aan met zo'n 0,2 micrometer per minuut en hoe langer het proces blijft lopen, hoe dikker het laagje. Voor elektrische contacten is anderhalve micrometer dikte voldoende. Als het substraat zelf niet elektrisch geleidend is, is een geleidende laag nodig, om de elektronen op de juiste plek te krijgen. De oplossing in het bekglas wordt steeds in beweging gehouden met een roerder, om zo steeds verse goudionen aan te voeren. De kwaliteit van de gevormde laagjes is sterk afhankelijk van parameters als de roersnelheid en de elektrische stroom die loopt. Daarbij is het steeds zoeken naar het optimum. Smalbrugge: "Als bijvoorbeeld de spanning over de twee elektroden te hoog is, wordt aan de kathode ook waterstof gevormd. Een ongewenst neveneffect, want dat gas zorgt ervoor dat het gevormde laagje goud poreus wordt. En dat levert uiteindelijk verliezen op bij hoogfrequente toepassingen". Met electroplating wordt goud veel gericht op een plaats aangebracht dan bijvoorbeeld met opdampen. Bij dit proces verdampt goud namelijk in hoog vacuüm in alle richtingen en slaat vervolgens overal op neer. Daarbij gaat veel materiaal verloren. Voorheen werd electroplating veelal uitgevoerd met een oplossing van kaliumgoudcyanide. Zou dit echter op één of andere manier in aanraking komen met een zuur, zou het uiterst giftige blauwzuur worden gevormd. En dat is dodelijk doordat het de zuurstofopname in het bloed blokkeert, net als koolmonoxide. Een ammonium-goud-sulfietoplossing bleek veel veiliger te zijn. Deze commercieel verkrijgbare vloeistof bevat zo'n tien gram goud per liter. Smalbrugge: "De prijs

is afhankelijk van de dagprijs van goud op het moment van aankoop. Omdat deze fluctueert, moet de rekening hiervoor wel altijd binnen een paar dagen worden voldaan".

Betere beelden

Dr.ir. Gustav Strijkers, onderzoeker aan de faculteit Biomedische Technologie, ziet wel brood in goud als basis voor een contrastmiddel. Hij hoopt een vloeistof te ontwikkelen waarmee je met de CT-scanner -een soort röntgenapparaat- betere beelden krijgt. Om veel goud gaat het hier niet. "Gigantisch weinig", zegt Strijkers zelf. Hij lost nanobolletjes goud op in water, in een uiterst lage concentratie:

Steen der wijzen

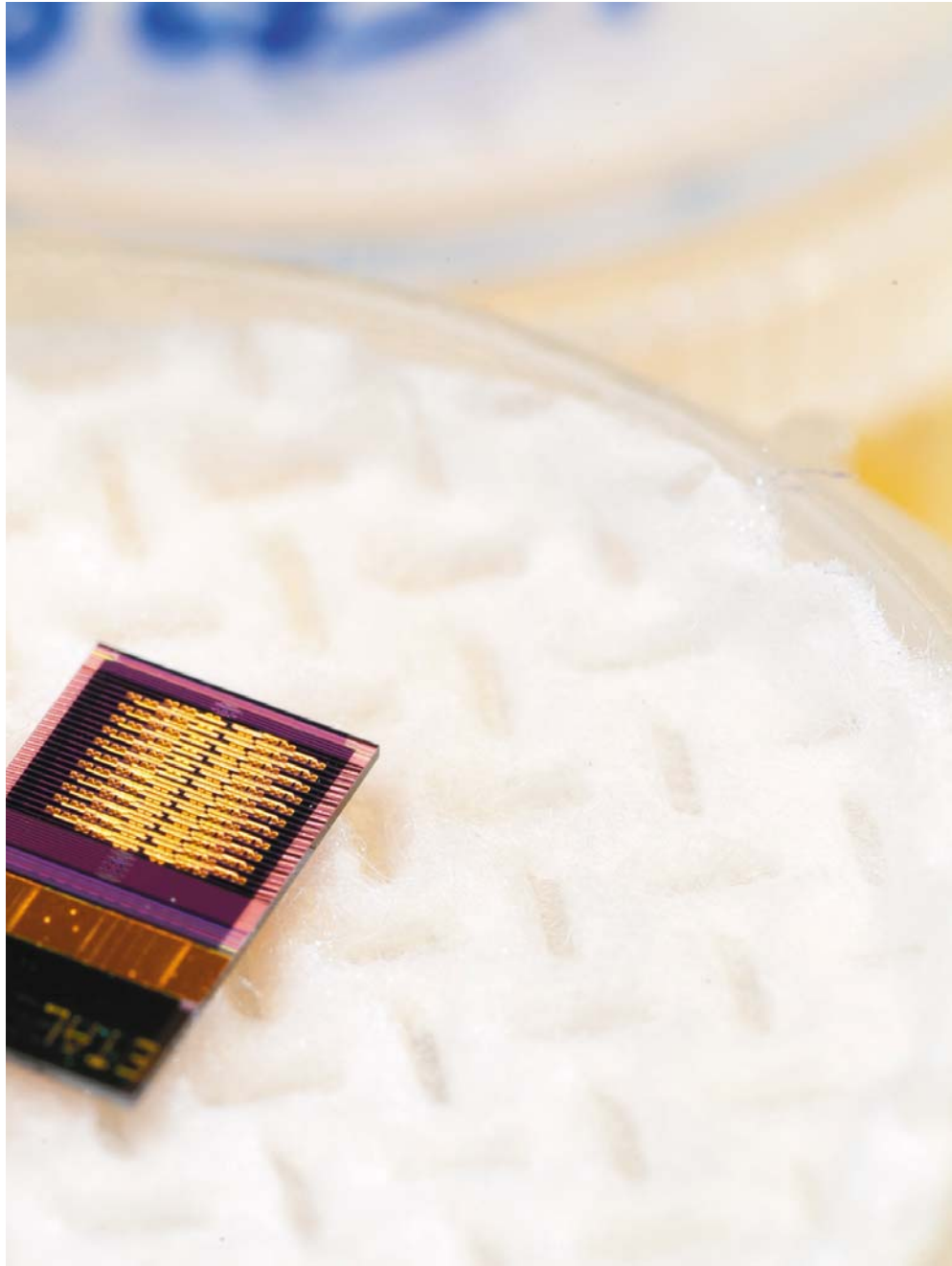
Ook in de alchemie heeft goud altijd een zeer bijzondere plaats ingenomen. Deze stroming, die wordt gezien als de voorganger van scheikunde, natuur- en geneeskunde, had als één van de belangrijkste doelen het vinden van de Steen der Wijzen. Men geloofde in alchemistenkringen dat je met deze steen -'Philosopher's Stone' in het Engels, bekend van Harry Potter- gewone metalen in goud kon veranderen. Ook zou het een elixer zijn voor het verkrijgen van de eeuwige jeugd. Dit idee was naar verluidt oorspronkelijk afkomstig van de achtste-eeuwse alchemist Jabir Ibn Hayyan, in het westen ook bekend als Geber. Hij beredeneerde dat elk element een samenstelling was van de eigenschappen hitte, koude, droogte en vochtigheid. Zo was vuur heet en droog en water koud en vochtig. Hij beweerde verder dat ook de metalen konden worden beschreven door deze vier eigenschappen. Op basis van deze theorie geloofde Geber dat elk metaal in elk ander metaal kon worden veranderd. Je hoefde daarvoor alleen maar de eigenschappen te herordenen. De alchemisten hebben de Steen der Wijzen nooit kunnen vinden, maar in de twintigste eeuw ontdekten natuurkundigen dat ze atomen konden splijten en samensmelten. Zo kon uit het ene element een ander worden gemaakt. In een kernreactie vormden zij zo goudatomen uit loodatomen. Het gevormde goud was echter een instabiele isotoop, die na vijf seconden alweer verviel.

Stralende

Goud is het bekendste onder de edelmetalen. Als symbool voor het element wordt 'Au' gebruikt, een afkorting van het Latijnse 'aurum', letterlijk vertaald 'stralende dageraad'. Met atoomnummer 79 staat het in het periodieke systeem der elementen onder koper en zilver. Van die drie is goud het edelst, wat inhoudt dat het nauwelijks wil reageren met andere materialen. Het gaat zelfs geen verbinding aan met zuurstof-oxideren-, zodat goud niet mat wordt of verkleurt, zoals zilver en koper. Goud wordt gewonnen uit erts van zilver, koper, ijzer en platina. Ook in enkele mineralen komt goud voor. De productie van het edelmetaal groeit nog ieder jaar en bedroeg in 2005 zo'n 3700 ton.



t het goud steeds meer



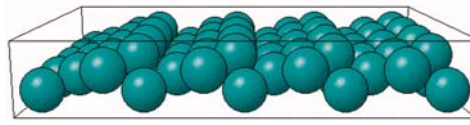
ongeveer één op vijftig miljoen. Of het werkt, kan hij nog niet zeggen. Hij is pas een paar maanden geleden begonnen goud onder de loep te nemen. Jeroen van Herrikhuysen, aio binnen de ST-capaciteitsgroep Macromoleculaire en Organische Chemie, werkt ook met piepkleine gouddeeltjes. Bolletjes van bijvoorbeeld anderhalve nanometer groot, slechts bestaande uit zo'n honderd goudatomen. Hij bestudeert de interactie van goud met organische halfgeleiders, met het oog op toepassingen in de nano-elektronica. Het zeer fijne goud heeft een heel intense kleur rood, vertelt Van Herrikhuysen. Rood goud? Klinkt vreemd, maar dat is het niet, weet de aio. Als je dergelijke kleine

bolletjes in een oplossing brengt, levert dat de kleur rood op, en niet het bekende goudgeel. Zijn de goudbolletjes voorzien van een laagje van een bepaalde organische halfgeleider en breng je de bolletjes dicht bij elkaar, dan verschuift de kleur naar grijs. In een verre toekomst zou je dit soort eigenschappen misschien kunnen gebruiken in elektronica, maar nu nog niet. Nu gaat het nog om het ontdekken wat er allemaal mee kan en hoe het werkt. Van Herrikhuysen doet onderzoek met goud, maar dat wil niet zeggen dat hij voor kapitalen aan materiaal verbruikt. "Meestal koop ik een potje van vijf gram, eens in de driekwart jaar. Dat kost wel een paar honderd euro." Maar een brandkast is dus niet nodig.

Goud voor katalyse

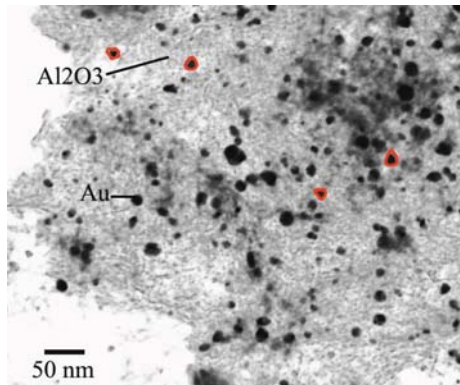
Aan het oppervlak van een heterogene katalysator speelt de chemische reactie zich af. Daar breekt de katalysator de moleculen in stukken en voegt hij de delen samen tot andere, meer bruikbare stoffen. In de hedendaagse auto zorgen fijn verdeeld platina en rhodium bijvoorbeeld voor het omzetten van het giftige koolmonoxide in kooldioxide en voor het afbreken van stikstofoxiden. Omdat goud nauwelijks met andere stoffen wil reageren, dacht men altijd dat het niet geschikt zou zijn als katalysator. Tot bleek dat goud wel actief is, mits het maar in de vorm van zeer kleine deeltjes -nanometers groot- wordt gebruikt. Aldus ruim vijftien jaar geleden ontdekt door de Japanner Haruta, peetvader van de goudkatalyse.

Prof.dr. Ben Nieuwenhuys, die heen en weer pendelt tussen de Universiteit Leiden en de capaciteitsgroep Physical Chemistry of Surfaces van de TU/e-faculteit



Schematische weergave van een gestapt goudoppervlak. De katalytische activiteit is het hoogst aan de uitstekende goudatomen.

Afbeelding: Vinod et al



Microscopopname van gouden nanodeeltjes op een drager van aluminiumoxide.

Foto: Ben Nieuwenhuys

Scheikundige Technologie, leidt het onderzoek naar het toepassen van goud voor katalyse. "Het is grappig, maar juist het fundamentele deel van het onderzoek deden we hier, aan een technische universiteit", vertelt hij. "We kwamen erachter dat een goudoppervlak dat zo vlak is als een biljartlaken, nauwelijks katalytische activiteit vertoont. Maar toen we in zo'n mooi vlak kristal stappen aanbrachten, zagen we rond die sites een verhoogde activiteit. In Leiden hebben we vervolgens gekeken welke reacties door het goud werden versneld." De verklaring voor het -met een katalysator in het achterhoofdsterk verbeterde gedrag vond men in het feit dat de hogere liggende goudatomen minder buuratomen hebben.

"Daardoor gedragen ze zich chemisch anders, zijn ze veel actiever in het omzetten van stoffen. Door nu gouddeeltjes van een paar nanometer groot te maken, creëren we heel veel van die sites die je ook hebt op gestapte oppervlakken. En dus veel activiteit", aldus Nieuwenhuys, die zijn experimentele werk overigens ondersteund zag door het rekenwerk van de Deen prof. Jens Nørskov. Deze krijgt vandaag, donderdag 27 april, een eredoctoraat van de TU/e uitgereikt. De grootte van de gouden nanodeeltjes is erg belangrijk voor de prestaties. Uit experimenten blijkt een gemiddelde grootte van zo'n twee nanometer optimaal. Nieuwenhuys: "Resultaten wijzen erop dat nog kleiner maken geen zin meer heeft, omdat de gouddeeltjes zich dan niet meer als een metaal gedragen". Bij hogere temperaturen worden de minuscule gouddeeltjes te mobiel en versmelten ze steeds makkelijker met elkaar, wat het actieve oppervlak vermindert. Daarom zitten de deeltjes op een drager van bepaalde metaaloxiden. Op het grensvlak van goud en het oxide ontstaat een nieuw mengoxide, dat als een soort lijm de gouddeeltjes op hun plek houdt. Hogere temperaturen zijn toch al niet ideaal voor de goudkatalysator, doordat het dan de gekraakte moleculen niet meer lang genoeg aan het goudoppervlak kan vasthouden. Daar neemt het eveneens actieve dragermateriaal die taak dan ook over. Voorbeelden van reacties die door goudkatalysatoren versneld worden, zijn het omzetten van methanol in waterstof en het zuiveren van waterstof van ongewenst koolmonoxide. Het laatste is nodig om zuivere waterstof te maken voor gebruik in brandstofcellen. Katalysatoren van auto's werken met platina, maar dit materiaal functioneert koud na het starten nog niet goed. Hierbij zou goud een nuttige aanvulling kunnen zijn./ •

Koningswater

Goud reageert bijna met geen enkele stof en lost dus ook in bijna geen enkele vloeistof op. Een uitzondering daarop vormt het buitengewoon corrosieve koningswater. Dit mengsel van salpeterzuur en zoutzuur dankt zijn naam aan het feit dat het zelfs de 'edele' metalen platina en goud oplost. Koningswater verliest vrij snel aan kracht en moet dus direct na het mengen worden gebruikt. De kracht van het mengsel is ontdekt door de alchemist Jabir Ibn Hayyan. Hij hoopte dat het een rol zou kunnen spelen bij het vinden van de zogenoemde Steen der Wijzen (zie kader op de linkerpagina).

Koningswater is welhaast legendarisch geworden door een anekdote uit de Tweede Wereldoorlog. In het Kopenhagen van eind jaren dertig van de vorige eeuw had de beroemde natuurkundige Niels Bohr een aantal collega's om zich heen verzameld in een naar hem genoemd topinstituut. Onder hen ook de Duitse Nobelprijswinnaars van Joodse afkomst Max Von Laue en James Franck. Zij hadden in 1933 hun toevlucht genomen tot de Deense hoofdstad. De gouden medailles die verbonden waren aan hun reeds eerder gewonnen Nobelprijs, hadden ze op het instituut in bewaring gegeven om te voorkomen dat de Duitsers ze in beslag zouden nemen. Denemarken werd echter in april 1940 ook door de Duitsers onder de voet gelopen. Nu was het zaak de medailles te verbergen, want het was bijna een halsmisdrijf om in die tijd goud Duitsland uit te smokkelen. En in de medailles waren ook de namen van de laureaten gegraveerd.

De Hongaarse chemicus George de Hevesy -zelf Jood-, die ook aan het instituut werkte, kwam op het briljante idee de medailles op te lossen in een fles koningswater. "Terwijl de Duitsers Kopenhagen binnenmarcheerden, was ik bezig met het oplossen van de medailles van Franck en Von Laue", vertelde hij later. "Dat viel nog niet mee, want goud is allerminst reactief en dus heel lastig op te lossen." Toch slaagde De Hevesy in zijn opzet. De nazi's vielen Bohrs instituut binnen, maar konden niets ontdekken. Na de oorlog werd het goud teruggewonnen uit de oplossing en liet de Nobelstichting daaruit nieuwe medailles maken voor Franck en Von Laue. (Bron: www.nobelprize.org)



dageraad

Belangrijkste leveranciers zijn Zuid-Afrika, Rusland, Canada, de Verenigde Staten, Brazilië en Australië. In pure vorm is goud praktisch onbruikbaar, omdat het erg zacht is. Het wordt daarom meestal in legeringen toegepast, zoals traditioneel in sieraden en munten. Maar ook in de tandheelkunde is goud een veelgebruikt metaal. Verder geleidt het elektriciteit en warmte uitstekend en reflecteert het infraroodstraling, waardoor het kan dienen om ruimtevaartuigen

en wolkenkrabbers te beschermen tegen de hitte van zonnestralen. Sommige goudisotopen worden gebruikt bij het behandelen van kanker.