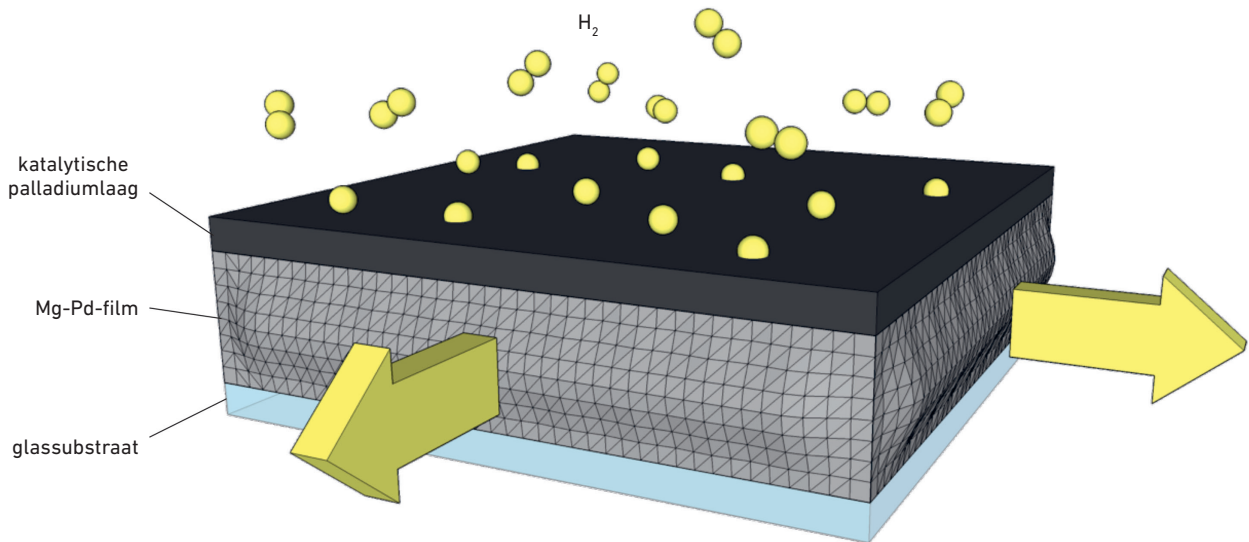


WATERSTOFOPSLAG IN MAGNESIUMPOEDER



Illustratie van waterstofabsorptie in dunne films van magnesium en palladium: de katalytische palladiumlaag splitst waterstofmoleculen in atomen en maakt absorptie in de onderliggende magnesium-palladiumlaag mogelijk. De adhesie tussen de bovenste palladiumlaag en de onderste magnesium-palladiumlaag compenseert de expansie veroorzaakt door waterstofabsorptie en beïnvloedt de thermodynamica van het proces sterk. Illustratie: Andrea Baldi.

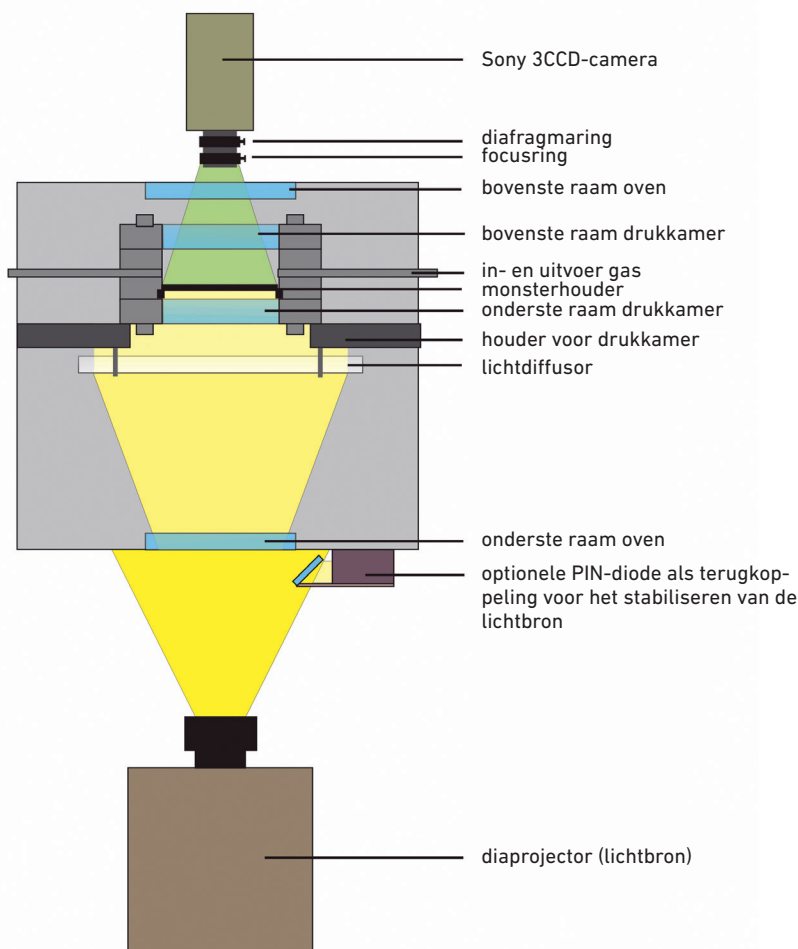
Magnesium kennen we vooral als voedingssupplement (bijvoorbeeld in de vorm van magnesiumsulfaat en -citraat) en als middeltje waarmee turners hun handen inwrijven (magnesiumcarbonaat). Het poeder kan echter ook worden gebruikt om waterstofgas (H_2) in op te slaan. Andrea Baldi, werkzaam aan het Eindhovense instituut voor fundamenteel onderzoek DIFFER, heeft de thermodynamica achter de opname en afgifte van de 'ultieme duurzame brandstof' in het lichte metaal ontrafeld.

In tegenstelling tot koolwaterstoffen komt bij verbranding van het licht ontvlambare waterstofgas enkel waterdamp vrij en geen CO_2 (noch andere milieuvriende-

lijke componenten). Natuurlijk is waterstof alleen duurzaam als het met hernieuwbare energiebronnen – bijvoorbeeld via elektrolyse uit stroomoverschotten van wind- en zonneparken – wordt geproduceerd. Daarom wordt waterstof meestal geen energiebron genoemd, maar een energiedrager.

Vandaag wordt waterstofgas in bulk opgeslagen in gasvormige of in vloeibare vorm, in tanks die hiervoor speciaal zijn uitgerust. Bij gasvormige opslag is een grote druk nodig om het gas in een beperkt volume te persen. Bij vloeibare (cryogene) opslag moet de temperatuur lager liggen dan 250 graden onder nul. Deze complexe en dus dure opslag legt serieuze beperkingen

op aan het gebruik van waterstof als brandstof en energiedrager. Waterstof kan ook in een vaste vorm worden opgeslagen. De waterstofmoleculen kunnen zich splitsen waarna de atomen (zuivere protonen dus) worden geabsorbeerd door een metaal. Van magnesiumkristallen (in poedervorm) is bekend dat ze goed waterstof kunnen absorberen en vasthouden. De opslag in magnesium biedt uitzicht op een breed scala aan toepassingen, zoals waterstofopslag in (niet ontvlambaar) magnesiumpoeder voor auto's, waterstofbatterijen voor zware apparatuur en lokale, tijdelijke opslagfaciliteiten bij wind- en zonneparken. Om in aanmerking te komen als bruikbaar opslagmedium, moet



Schematische weergave van de hydrogenografie-opstelling waarmee de optische transmissie door dunne metaalfilms wordt gemeten gedurende waterstofbelading. Illustratie: M. Slaman VUA/TUD.

het waterstofgas niet alleen makkelijk door het magnesiumpoeder worden opgenomen, maar ook 'spontaan' weer worden afgegeven. Bij onbehandeld magnesiumhydride (MgH_2) is dit echter verre van het geval: de waterstofmoleculen laten pas weer los bij een temperatuur van driehonderd graden Celsius. Dat is te heet voor bijvoorbeeld brandstofcellen in auto's, waar een afgifte bij normale druk en kamertemperatuur is gewenst.

Het komt er dus op aan de verbinding magnesiumhydride (veel) minder stabiel te maken, zodat ze gemakkelijker haar waterstof weer afgeeft. Tien jaar geleden maakten fysici van de universiteiten van Amsterdam en Delft hier al een begin

mee door alvast de absorptiedruk – de druk waarboven magnesium waterstofatomen opneemt – te verhogen, dit met een factor tweehonderd. Dat deden ze door dunne films van magnesiumkristallen (van een paar nanometer dik) tussen twee laagjes palladium te leggen. Door die 'sandwichstructuur' werden de magnesiumkristallen minder elastisch, waardoor ze minder makkelijk waterstofatomen opnemen, vermoedden de Nederlandse onderzoekers toen. Amerikaanse collega's van de universiteit van Stanford dachten er echter anders over: niet de verminderde elasticiteit maar effecten ten gevolge van de magnesium-palladiumlegering zouden aan de basis liggen van de

sterk verhoogde opnamedruk. Toch werden beide hypothesen slechts gedeeltelijk bevestigd door de experimentele resultaten.

Tot nog toe hebben fysici enkel de opnamedruk van het behandelde magnesium kunnen verhogen. Helaas lijkt het er niet op dat de in palladium verpakte magnesiumkristallen daarmee ook vlotter hun waterstofatomen afgeven. Toch is er nu een doorbraak, want een van de onderzoekers van weleer, Andrea Baldi (toen Amsterdam en Delft, nu DIFFER), heeft ontdekt waarom de hypothesen indertijd stukliepen op het experiment.

Baldi onderzocht opnieuw dunne films van magnesium, dit keer met verschillende massafracties palladium, en bij variërende temperatuur en druk. Zo stuitte hij en zijn collega's op het derde ingrediënt dat de waterstofopname bepaalt: de vorming van defecten. "Zowel bij de absorptie als desorptie van waterstof in het magnesium ontstaan en verdwijnen er defecten, voornamelijk dislocaties", zegt Baldi. "Die verstoren de thermodynamica van het geheel in niet geringe mate en ze bepalen daarmee de druk (in evenredig verband, red.) die nodig is om waterstof op te nemen."

Nu ze de thermodynamica achter de waterstofopslag preciezer kennen, willen Baldi en zijn collega's verder zoeken naar een manier om magnesiumhydride minder stabiel te maken en ook hoe ze het proces kunnen opschalen. "Wat dit laatste betreft hebben we goede hoop dat dit kan, want de effecten van elastische krachten (door de toevoeging van palladium of een ander metaal, red.) en van de legering blijven gewoonlijk op grotere schaal dezelfde. Ook als we werken met een macroscopisch systeem in 3D in plaats van op nanoschaal."

REFERENTIE

1 Andrea Baldi et al., Elastic versus Alloying Effects in Mg-Based Hydride Films, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 255503 (2018).