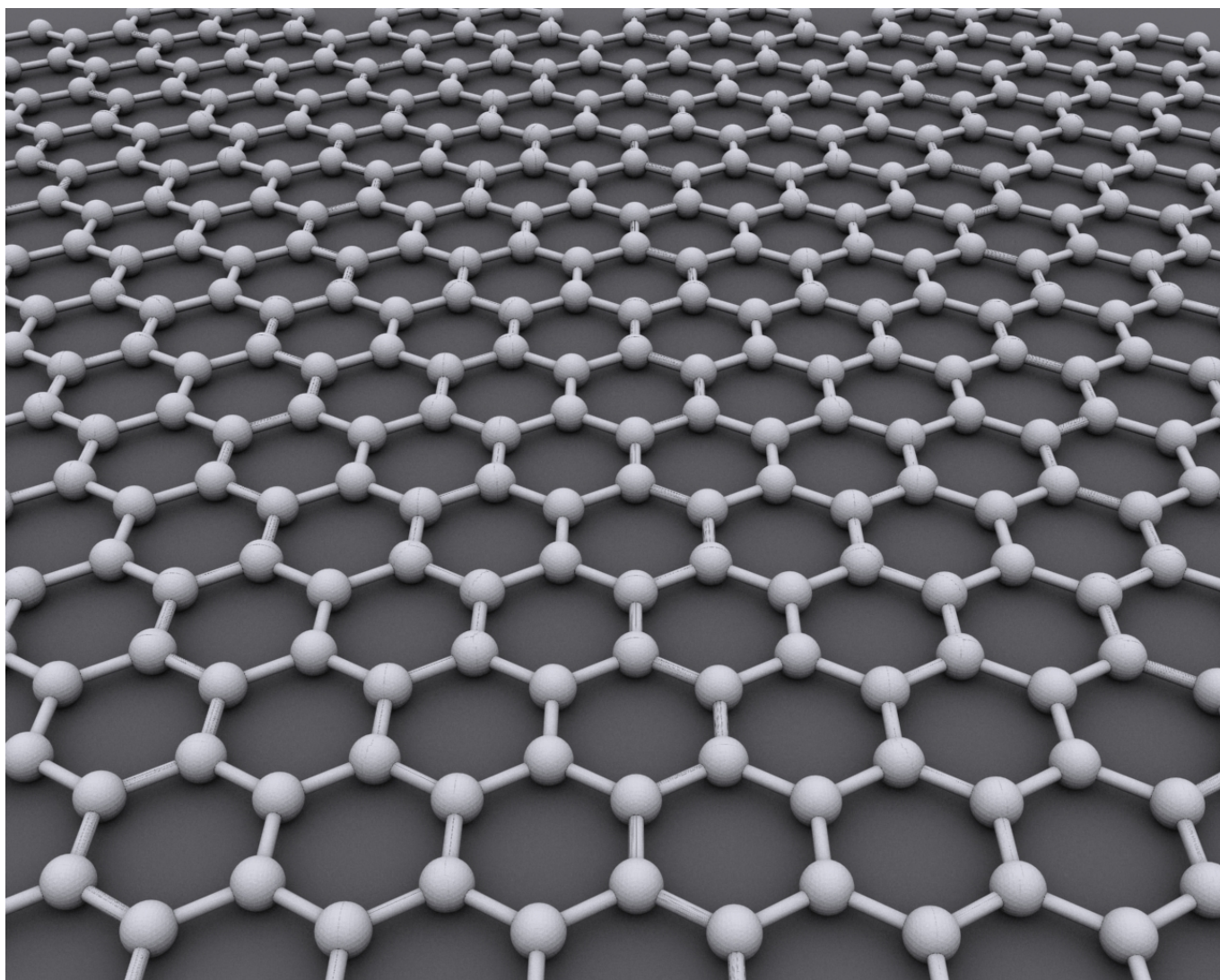


Grafeen groeit - en dat kun je zien

Grafeen is het sterkste materiaal dat we kennen. Bovendien blijkt het extreem goed te zijn in het geleiden van warmte en elektrische stroom, waardoor het een van de bijzonderste en veelzijdigste materialen is die we kennen. Al die eigenschappen waren voldoende reden om in 2010 de Nobelprijs voor de Natuurkunde toe te kennen voor de ontdekking van grafeen. Toch zijn er nog allerlei eigenschappen van het materiaal, en van soortgelijke materialen, slecht begrepen.

De oorzaak is het simpele feit dat de atomen waar die materialen uit bestaan heel moeilijk waar te nemen zijn. Een team van onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam en New York University hebben nu een verrassende manier gevonden om dit probleem op te lossen.



Afbeelding 1. Grafeen. De typische tweedimensionale hexagonale structuur van grafeen. In echt grafeen bestaat deze honingraatstructuur uit koolstofatomen, maar nu kan dezelfde structuur nagemaakt worden met micrometergrote deeltjes van polystyreen. Afbeelding: [Wikimedia Commons](#).

Tweedimensionale materialen, die bestaan uit een enkele, hyperdunne laag van atomair kristal, hebben recent uitgebreid in de aandacht gestaan. Die zeer verdiende aandacht is vooral te danken aan hun bijzondere eigenschappen, die heel anders zijn dan die van hun driedimensionale tegenhangers. Grafeen, het bekendste voorbeeld, en allerlei andere tweedimensionale materialen, worden tegenwoordig intensief in het laboratorium onderzocht. Wat misschien verrassend is, is dat de *defecten* in het rooster, de plekken waar de kristalstructuur juist níét perfect is, cruciaal zijn voor de speciale eigenschappen van deze materialen. Op die plekken wordt de geordende rangschikking van de atomen verstoord en verandert plaatselijk hun coördinatie.

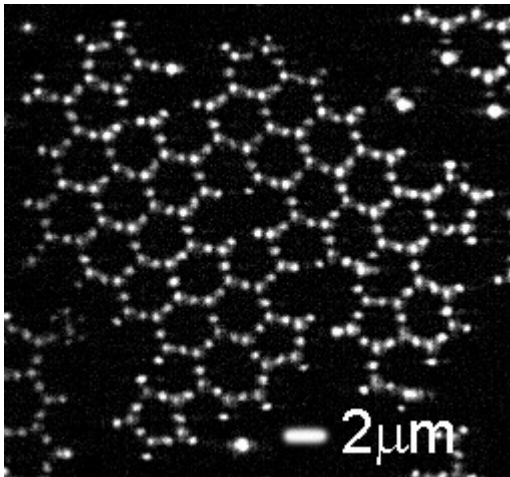
Atomen visualiseren

Hoewel is aangetoond dat defecten cruciaal zijn voor de materiaaleigenschappen, en ze bijna altijd ofwel aanwezig zijn, ofwel bewust worden toegevoegd, is er maar weinig bekend over hoe defecten ontstaan en hoe ze in de loop van de tijd evolueren. De reden daarvoor is eenvoudig: atomen zijn simpelweg te klein en bewegen te snel om ze rechtstreeks te kunnen volgen.

In een poging om de defecten in grafeenachtige materialen zichtbaar te maken, ontdekte het team van onderzoekers van het UvA-Institute of Physics en New York University een manier om micrometers grote modellen van atomair grafeen te bouwen. Om dit voor elkaar te krijgen gebruikten ze zogeheten ‘patchy particles’. Die deeltjes – groot genoeg om gemakkelijk zichtbaar te zijn onder een microscoop, maar klein genoeg om allerlei eigenschappen van echte atomen te reproduceren – hebben dezelfde gecoördineerde interactie als atomen in grafeen, en vormen daardoor eenzelfde structuur. De onderzoekers bouwden zo een modelsysteem en gebruikten dat om inzicht te krijgen in de defecten, hun vorming en hun tijdsevolutie. De resultaten werden deze week in Nature Communications gepubliceerd.

Grafeen bouwen

Grafeen bestaat uit koolstofatomen die elk drie buren hebben, gerangschikt in het bekende ‘honingraatpatroon’. Het is die bijzondere structuur die grafeen zijn unieke mechanische en elektronische eigenschappen geeft. Om dezelfde structuur in hun model te bewerkstelligen gebruikten de onderzoekers microscopisch kleine bolletjes van polystyreen, voorzien van drie nóg kleinere ‘lapjes’ van een materiaal dat bekend staat als 3-(trimethoxysilyl)propyl – of kortweg TPM. De configuratie van de stukjes TPM bootste de rangschikking van koolstofatomen in het grafeenrooster na. De onderzoekers maakten de TPM-stukjes vervolgens aantrekkelijk, zodat de deeltjes bindingen met elkaar konden vormen, wederom in analogie met de koolstofatomen in grafeen.



Afbeelding 2. ‘Kunstmatig’

grafeen. Stukken van een grafeenrooster, gemaakt van ‘patchy particles’. Omdat de deeltjes nu één voor één gevolgd kunnen worden, kunnen defecten worden bestudeerd op de schaal van individuele deeltjes.

Nadat de deeltjes een paar uur met rust waren gelaten, zagen de onderzoekers onder de microscoop dat de ‘namaak-koolstofdeeltjes’ zichzelf inderdaad rangschikten in een honingraatpatroon. Vervolgens keken ze in meer detail naar de defecten in het rooster van dit model-grafeen. Ze zagen dat het model ook in dat opzicht werkte: er waren karakteristieke patronen van defecten te zien, zoals die ook bekend waren uit atomair grafeen. Maar in tegenstelling tot echt grafeen konden de natuurkundigen, door de lange vormingstijd en het rechtstreeks observeren, nu de defecten vanaf hun eerste vorming tot hun integratie in het rooster blijven volgen.

Onverwachte resultaten

De nieuwe blik op de groei van grafeen-achtige materialen heeft al direct geleid tot nieuwe kennis over deze tweedimensionale structuren. Zo ontdekten de onderzoekers dat de meest voorkomende soort defecten onverwacht al gevormd worden in de allereerste groeistadia, nog voordat het rooster is opgebouwd. Ze zagen ook hoe de verstoring van het rooster vervolgens ‘gerepareerd’ wordt door een tweede defect, waardoor een stabiele configuratie van defecten ontstaat die ofwel langdurig aanwezig blijft, ofwel heel langzaam verder

‘geneest’ tot een regelmatigere rooster.

Daarmee maakt het modelsysteem het niet alleen voor allerlei toepassingen mogelijk om het grafeenrooster op grotere schaal na te bouwen, maar leiden de rechtstreekse waarnemingen ervan ook tot inzichten in de atomaire dynamica van deze klasse van materialen. Aangezien defecten een centrale rol spelen in de eigenschappen van alle atomair dunne materialen, helpen zulke rechtstreekse waarnemingen aan modelsystemen ook om hun atomaire tegenhangers beter te ontwerpen – iets wat bijvoorbeeld toegepast kan worden bij het maken van ultralichte materialen en elektronische apparaten.

Publicatie

[*Visualizing defect dynamics by assembling the colloidal graphene lattice*](#), Piet J. M. Swinkels, Zhe Gong, Stefano Sacanna, Eva G. Noya en Peter Schall, Nature Communications **14** (2023) 1524.