

Tweedimensionale materialen maken met atoomlaagdepositie

Citation for published version (APA):

Biemans, C., & Bol, A. A. (2016). Tweedimensionale materialen maken met atoomlaagdepositie. *Nevac Blad*, 54(3), 18-19. <http://www.nevac.nl/418/klinevac2016-2.pdf>

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/12/2016

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Tweedimensionale materialen maken met atoomlaagdepositie

Op 31 oktober kwamen aan de TU in Eindhoven wetenschappers en technici bijeen voor de workshop *ALD for 2D*: atoomlaagdepositie van tweedimensionale materialen. De organisatie van de dag was in handen van Ageeth Bol van de afdeling Plasma & Materials Processing. Sponsor van de dag was Oxford Instruments, die net een gloednieuw FlexAL 2D-systeem in de cleanroom van de afdeling had geïnstalleerd. In dit systeem zijn verschillende mogelijkheden voor het fabriceren, bewerken en in situ meten van 2D-atoomlagen gecombineerd.

Het bekendste 2D-materiaal is wel grafeen. Het bestaat uit een laag koolstofatomen die een plat rooster vormen, opgebouwd uit zeshoeken. Grafeen is een zeer sterk materiaal en daarnaast een van de snelste geleiders voor elektronen. Andere 2D-materialen zijn de dichalcogeniden: verbindingen van overgangsmetalen als molybdeen (Mo) en wolfram (W) met zwavel (S), selenium (Se) en telluur (Te). Dit zijn stabiele materialen die in de natuur voorkomen als mineralen. Ze bevatten geen elementen die zeldzaam zijn.

Bij de miniaturisering van computers zijn alle onderdelen steeds kleiner geworden, met als gevolg dat de elektronen die voor informatie-overdracht en -opslag zorgen, door steeds kleinere kanaal-

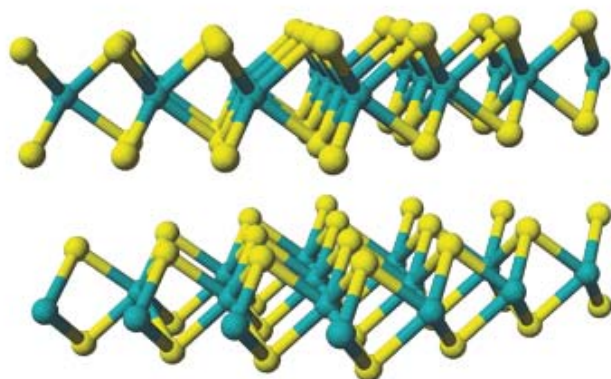
tjes moeten stromen. Daarbij neemt de weerstand toe en ontstaat er veel warmte. De geïntegreerde schakelingen bevatten tegenwoordig vaak veldeffecttransistoren (zoals MOSFETs) die aangestuurd worden met een spanning op de gate, waardoor een stroom kan gaan lopen tussen source en drain. Moderne gates zijn inmiddels zo dun geworden dat de capaciteit, en daarmee de spanning die nodig is voor het schakelen, toeneemt. Als een gate nanometers dik is, neemt ook het ladingverlies toe door het wegtunnelen van elektronen. Het resultaat is dat het energieverlies enorm stijgt en de transistor minder betrouwbaar werkt en ook nog eens gekoeld moet worden.

Hedendaagse processoren zijn al ener-

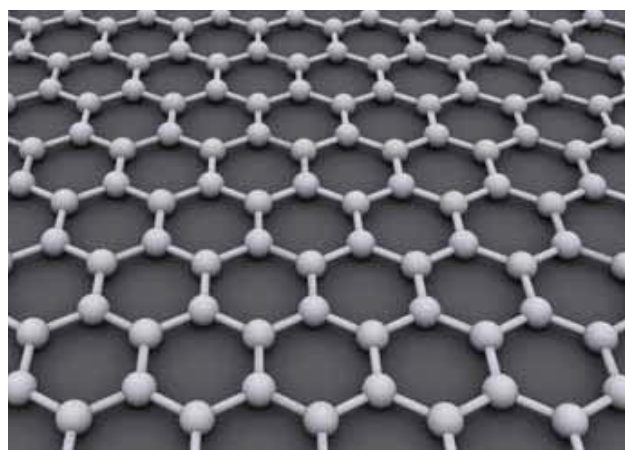
giezuiniger dan oudere technieken. Toch gebruikten in 2014 alle datacenters in de VS bij elkaar 70 miljard kWh, dat is 70 TWh. Ter vergelijking: het totale verbruik van elektriciteit in Nederland in 2014 was 118 TWh. Voor de ontwikkeling van nog krachtigere processoren die minder energie gebruiken, wordt nu gekeken naar nieuwe, tweedimensionale materialen. Die hebben bovendien als bijkomend voordeel dat ze transparant en flexibel zijn.

Plakband en ALD

Het is bekend dat je een 1 atoom dikke laag grafeen kunt maken door het voorzichtig lostrekken van plakband dat over een potloodstreep zit. Het is natuurlijk lastig om deze 2D-laag over te brengen op een ander materiaal en als je een wat groter oppervlak nodig hebt, is het, ook met een professionelere variant van deze methode, lastig te voorkomen dat er plooiën en scheuren in de laag ontstaan, de laagdikte is niet te controleren en de stukjes grafeen zijn hoogstens enkele micrometers groot. 2D-lagen van bijvoorbeeld MoS_2 kunnen ook met an-



Twee 2D-lagen MoS_2 . Groen: molybdeen, geel: zwavel.



2D-structuur van grafeen, opgebouwd uit koolstofatomen.



FOTO NANDO HARMISEN

dere methoden gemaakt worden, zoals sputtering en *chemical vapour deposition*. Atoomlaagdepositie blijkt een zeer nauwkeurige techniek te zijn voor het fabriceren van grotere 2D-lagen zonder defecten, met precieze controle over het aantal atoomlagen.

Een enkele laag MoS_2 kan gemaakt worden door een silicium wafer in de ALD-reactor bloot te stellen aan MoCl_5 waarvan 1 atoomlaag hecht aan de dunne bovenlaag SiO_2 . Omdat er niet meer plaatsen aan het oppervlak beschikbaar zijn waar de reactie kan plaatsvinden, is deze zelflimiterend. Na spoelen met argon, waardoor al het overtollige MoCl_5 wordt afgevoerd, wordt de ALD-reactor gevuld met H_2S , waardoor een enkele laag MoS_2 op het oppervlak overblijft. Vervolgens wordt de overmaat H_2S en het reactieproduct HCl door spoelen met argon afgevoerd.

Complexere structuren

Bij het maken van complexere structuren wordt bij ALD gewoonlijk eerst het basismateriaal gedeponerd dat daarna wordt bewerkt. Er kan bijvoorbeeld een patroon worden aangebracht door middel van etsen. Daarmee zijn processtappen gemoeid die tijdrovend en duur zijn. En ook kunnen onderliggende lagen beschadigd raken, wat natuurlijk zeer problematisch is voor de 1 atoomlaag dikke 2D materialen.

Bovendien is er bij grafeen en 2D-chalcogeniden een andere moeilijkheid: het zijn zeer stabiele verbindingen, dus ze reageren niet met andere moleculen. Hierdoor is het moeilijk andere materialen op de 2D-lagen af te zetten, die nodig zijn om complexere structuren te maken voor optische en elektronische toepassingen. Nu is er een oplossing bedacht om de 2D-laag te activeren, zodat er daarna

Ageeth Bol laat aan deelnemers van de workshop zien hoe grafeen met behulp van *chemical vapour deposition* wordt gemaakt in het *plasma & materials processing-lab*.

bijvoorbeeld een contact van platina op kan worden gedeponerd en dan wel alleen op de plaats waar dat nodig is. Het oppervlak kan met een elektronenbundel geactiveerd worden op de plek waar het platina moet komen. Deze methode heet *electron beam induced deposition*, EBID. Zo zijn door de groep van Ageeth Bol voor het eerst met behulp van ALD platinacontacten op grafeen aangebracht. 2D-ALD staat nog in de kinderschoenen. Tijdens de workshop was er veel tijd voor discussie en onderlinge ontmoetingen en de diverse deelnemers uit heel Europa hebben daar dankbaar gebruik van gemaakt.

Claud Biemans