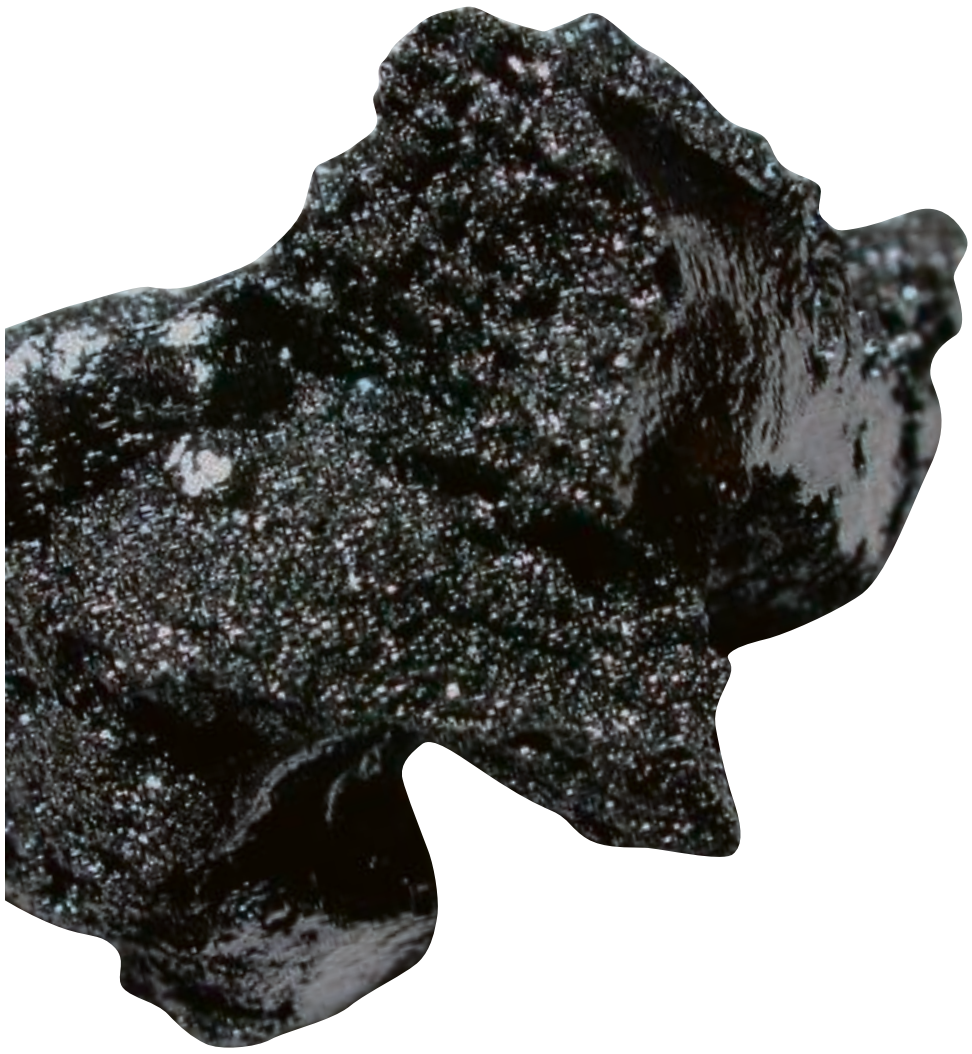


Nanonyt. Af banen, grafen! En ny skare af ultratynde supermaterialer er på vej, og danske forskere har fundet en metode til at klistre dem sammen på atomniveau. Det kan være første skridt på vejen mod en ny klasse af revolutionerende byggesten.

Fremtiden er todimensionel

Af CECILIE CRONWALD

Menneskehedens udvikling er tæt vævet sammen med de materialer, vi har opdaget undervejs. Vi inddeler ligefrem vores civilisationshistorie efter dem: Stenalderen, Bronzealderen, Jernalderen. I dag taler man om »Siliciumalderen«, opkaldt efter det grundstof, som er grundlag for moderne mikrochips og kommunikationsteknologi.

»De byggeklodser, vi har mellem hænderne, definerer ikke kun, hvad vi kan bygge, men også hvad vi kan forestille os. Først kommer materialet, så kommer ideerne,« siger Peter Bøggild, som er professor ved DTU Nanotech.

Når vi opdager en ny klasse af materialer, kan det ændre vores samfund fundamentalt, og det er muligvis, hvad der er på vej til at ske med de såkaldte »todimensionelle nanostrukturer«, som forskerne har fået øje på for nylig. Bolden begyndte for alvor at rulle i 2004, da det lykkedes to russiske forskere fra University of Manchester at skabe en lillebitte flage af supermaterialet grafen: et lag af kulstofatomer arrangeret i et nydeligt hønsenetmønster, kun ét atom tykt.

Efter dette gennembrud, som senere indbragte russerne en Nobelpris, »gik det amok«, fortæller Peter Bøggild. Det nye mirakelmateriale var pludselig på alles læber, og potentialet syntes uendeligt. Der er blevet skrevet flere hundrede tusinde videnskabelige artikler om grafen og søgt måske 40.000 patenter.

Men grafen var kun begyndelsen. I løbet af de seneste år er det blevet tydeligt, at det er bare ét blandt flere tusinde ultratynde – også kaldet todimensionelle – materialer, hver med deres egne unikke egenskaber.

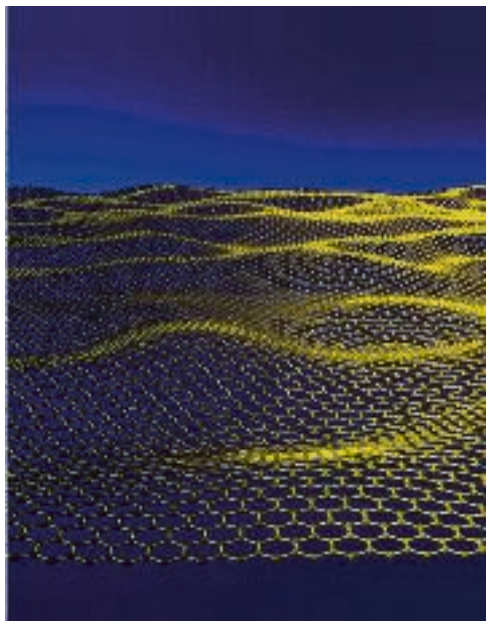
»Det svarer lidt til dengang, vi begyndte at grave jern op af jorden,« siger Peter Bøggild.

De nye materialer har et enormt potentiale. De kan gøre vores computere mindre og hurtigere, de kan give os superlette solceller og bøjelige mobilskærme, for ikke at tale om alt det, vi endnu ikke har fantasi til at forestille os. Først er vi dog nødt til at finde ud af, hvad de ufatteligt små strukturer kan og ikke mindst, hvad der sker, hvis man kombinerer dem, og det er netop, hvad Peter Bøggild og hans kolleger arbejder på. I en artikel, som torsdag blev publiceret online i tidsskriftet *Nature Communications*, præsenterer de et vigtigt skridt på vejen: en metode, som kan bruges til at stable todimensionelle materialer med atomar præcision og skabe et laminat, hvor hver enkelt lag er mindre end en nanometer.

Den vender vi tilbage til lidt senere.

FØRST lidt om materialet, der satte det hele i gang: grafen. Mennesket har længe kendt til grafit – en blød, gråsort version af kulstof med en helt særlig krystalstruktur, som gør det muligt at tegne og skrive med. Grafit er også blevet brugt som smøremiddel i åhundreder: I Middelalderens England brugte militæret det eksempelvis til at smøre deres støbeforme til kanonkugler med.

»Grafit har ligget foran vores næse i hundredvis af år, uden at vi har rigtig har forstået, hvorfor det har så fantastiske egenskaber,« siger Peter Bøggild.



Her på siden ses eksempler på ultratynde, todimensionale materialer, henholdsvis grafen og bornitrid (det rørformede).

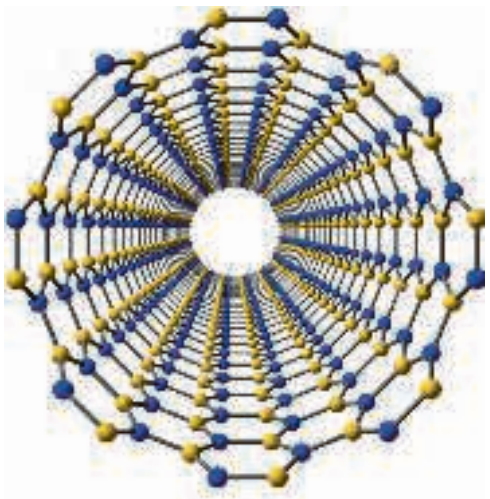
I sidste århundrede opdagede man, at grafit er blødt, fordi det består af en masse atomtynde, glatte kulstofplader, som glider rundt oven på hinanden næsten uden modstand. Siden 1950erne har fysikerne anet, at sådan ét enkelt lag af atomer – hvis man kunne isolere det – ville have en række spændende egenskaber, og omkring år 2000 satte forskere jagten ind på at isolere disse enkeltlag. Nogle fysikere argumenterede for, at en så tynd struktur umuligt kunne være stabil. En sådan todimensionel krystal ville simpelthen falde fra hinanden, mente de.

I 2004 fik de to russiske forskere publiceret deres resultater i tidsskriftet *Science*, hvor de viste, hvad der skete, når de satte strøm gennem et lille stykke grafen. Flagen havde de skabt ved hjælp af noget så jordnært som et stykke tape: De satte simpelthen et stykke tape ned på den skinnende sorte overflade af en klump grafit og fjernede det igen, så små stykker grafit blev siddende på tapen. Det blev de ved med at gøre, indtil det lykkedes dem – ved hjælp af et kraftigt mikroskop – at finde en flage, der kun indeholdt ét lag atomer.

»Ikke nok med, at strukturen eksisterede, den var ovenikøbet ekstremt stabil. Grafen viser sig at kunne tåle højere temperaturer end noget andet materiale, man kender til,« fortæller Peter Bøggild.

Det lyder måske sært for de uindviede, men for en kemiker eller fysiker er grafen virkelig en rockstjerne. Kulstofatomernes bindinger er utroligt stærke, og derfor kan det ultratynde lag af atomer varmes op til over 4.500 grader og stadig holde sammen. Det kan bukkes og foldes uden at gå i stykker, og så er det ekstremt effektivt til at lede elektricitet og varme. Derfor ser forskerne et enormt potentiale, ikke mindst i forbindelse med forskellige former for elektronik, hvor det eksempelvis kan føre varme væk fra computerchips og dermed bruges til at lave hurtigere beregninger.

Desuden er gitteret af kulstofatomer utrolig tæt. Ingen atomer eller molekyler kan sive gennem en membran af grafen, og det kan udnyttes til at holde materialer adskilt. Det kan også bearbejdes til avancerede filtre, der eksempelvis kan gøre saltvand til drikkeligt ferskvand: Man borer simpelthen bittesmå huller i materialet, så vandmolekyler lige præcis kan flyde igennem, mens saltmolekyler stoppes. Fordi grafen er mindre end en nanometer tykt, kan vandet løbe igennem membranen langt hurtigere end eksisterende filtre.



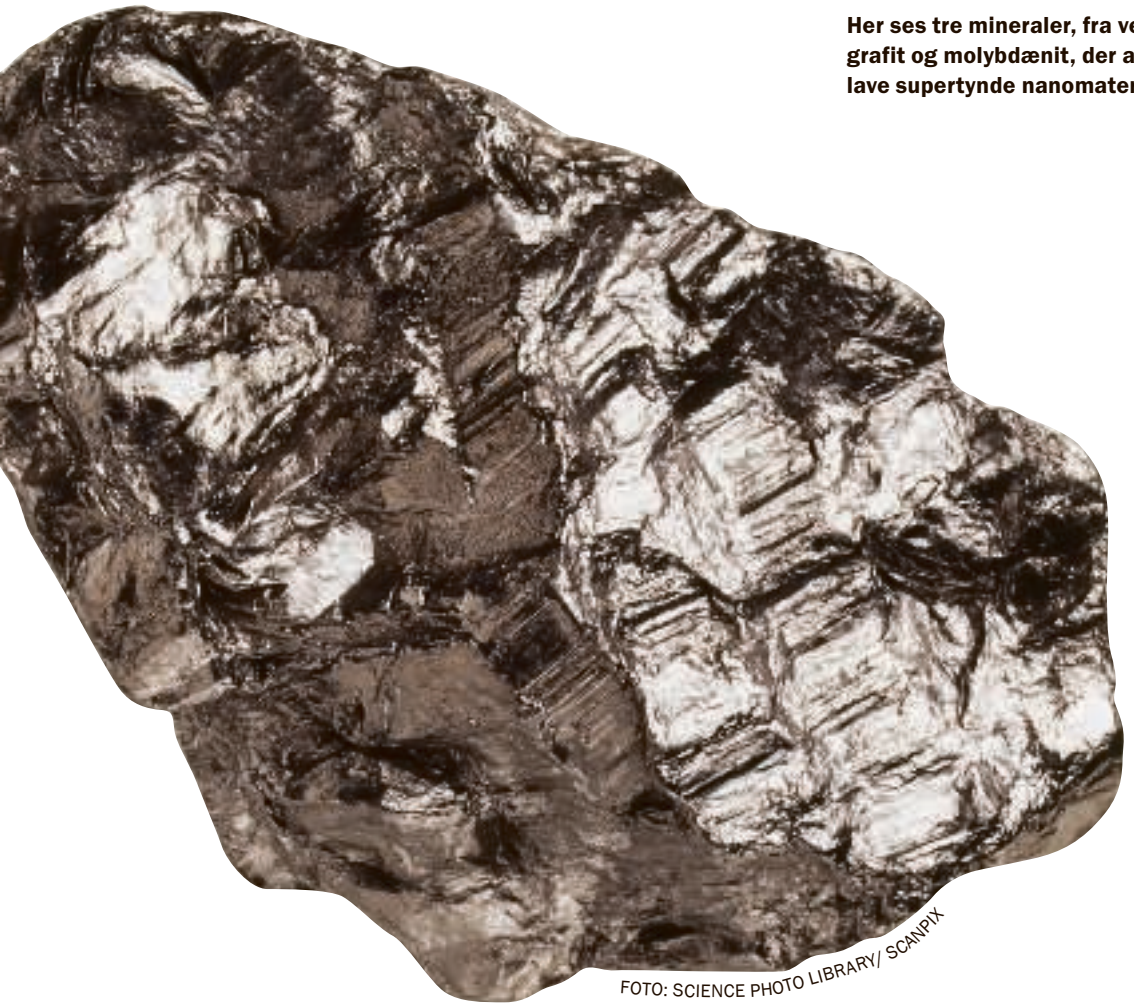
EFTER gennembruddet i 2004 gik forskergrupper over hele verden i gang med at eksperimentere med det nye materiale. På DTUs afdeling for nanoteknologi tøvede Peter Bøggild imidlertid.

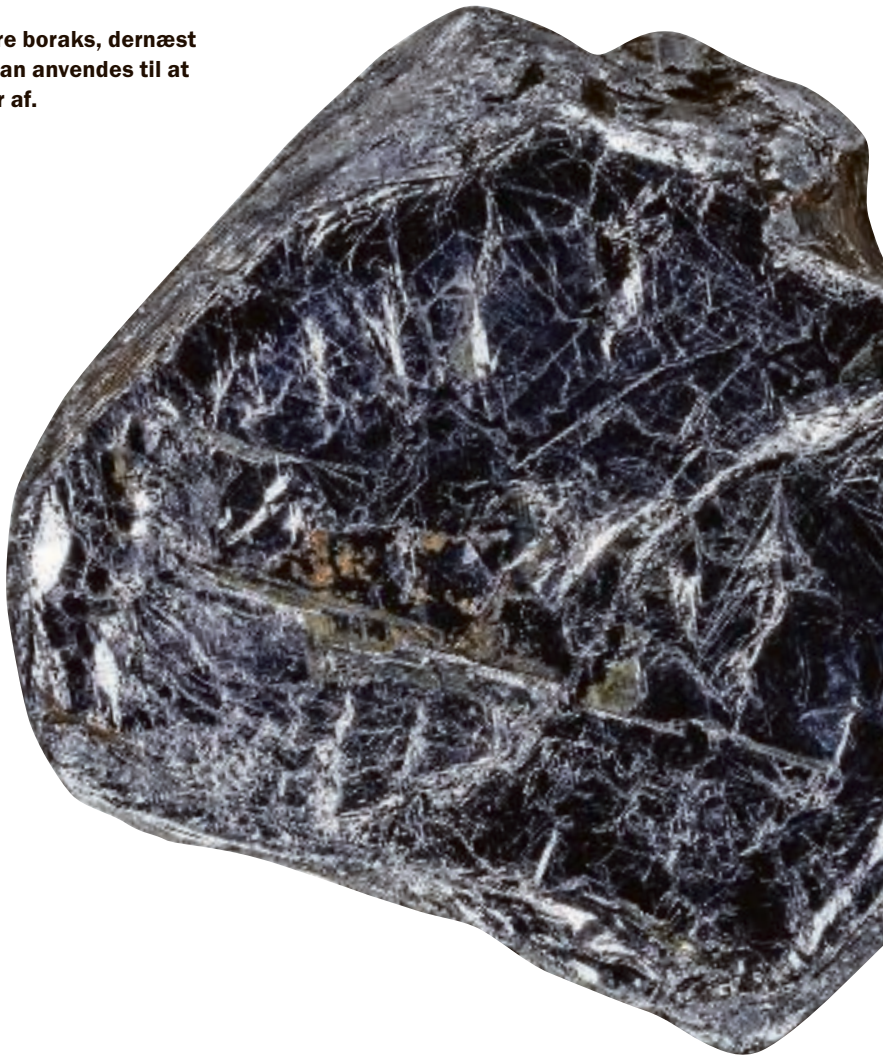
»Det gik lynhurtigt, og det så snart ud, som om løbet allerede var kørt. At vi ikke kunne nå at indhente de andre. Men teoretikerne på DTU var meget interesserede i det her felt og blev ved med at plage, om vi ikke snart kunne komme i gang med nogle eksperimenter,« husker han.

En dag sendte nogle af Bøggilds teoretikerkolleger en ph.d.-studerende over med et teknisk spørgsmål om grafen, og under samtalen med den studerende kunne han mærke, at han blev mere og mere optaget af emnet. Han overgav sig og endte med at søge om penge til et stort projekt om grafenelektronik.

I starten fokuserede Bøggild og hans kolleger ligesom deres kolleger i resten af verden på grafen, men efter nogle år begyndte de

LAYOUT: MAI-BRITT BERNT JENSEN





Her ses tre mineraler, fra venstre boraks, dernæst grafit og molybdænit, der alle kan anvendes til at lave supertynde nanomaterialer af.

FOTO: SCIENCE PHOTO LIBRARY/ SCANPIX

at spørge sig selv, om ikke der var andre todimensionelle materialer, der kunne bruges til noget?

»På et tidspunkt kom vi i tanke om et andet materiale, der minder en hel del om grafen i sin struktur, nemlig bornitrid. Det består bare af to forskellige atomer, bor og nitrogen, i stedet for ét,« fortæller Peter Bøggild.

Bornitrid bruges også som smøremiddel, og isolerer man et enkelt atomlag, har det mange af de samme egenskaber som grafen. Men hvor grafen leder elektricitet, er bornitrid elektrisk isolerende, og det er virkelig nyttigt. Hvis man eksempelvis skal bygge en transistor (en lille komponent, som bruges til at regulere et elektrisk signal), har man eksempelvis både brug for at kunne lede strøm og isolere.

Det viste sig desuden, at bornitrid fungerer som det perfekte underlag for grafen: Lægger man grafen oven på bornitrid, så bevæger elektronerne sig helt frit uden at blive forstyrret.

»På den måde får man de her fuldstændig science fiction-agtige egenskaber,« siger Bøggild.

Efter den opdagelse lugtede forskerne blod og begyndte at lede efter flere kandidater. Man fik øje på et andet kendt smøremiddel, molybdændisulfid, som viste sig at være en del af en kæmpe familie af todimensionelle stoffer med interessante egenskaber.

»Materialerne virker ved første øjekast måske ikke så specielle, det er stoffer, vi allerede kender. Det er bare først de seneste år, det er faldet os ind at bruge dem på den her måde,« siger Peter Bøggild.

I dag har man fundet ud af, at der findes mere end 2.500 forskellige todimensionelle materialer. Samtidig kan de kombineres på kryds og tværs, og dermed er der ikke et, men nærmest uendelige supermaterialer derude.

SELVOM man i teorien har identificeret tusindvis af todimensionelle strukturer, er der stadig langt til at gøre dem til virkelighed. I princippet er det ganske vist muligt at dyrke mange af krystallerne i store portioner, men det kræver store mængder af tid og penge at finde frem til de rigtige opskrifter for hvert materiale.

I dag dyrker man grafen i store ark og ruller, men det har, trods enorme investeringer, taget næsten ti år at nå så langt. Et af de helt store spørgsmål er derfor, hvor man skal starte med de nye supermaterialer. Hvilke kombinationer er gode? Hvad er det, vi skal bruge år og milliarder på at udvikle?

De teoretiske fysikere har nogle bud på, hvilke materialer der kan være nyttige at satse på, men det er ikke alt, man kan regne ud på forhånd. Ofte er det først, når man eksperimenterer med materialerne i virkeligheden, at man opdager, hvad de kan.

»På den måde er det ligesom en opdagelsesrejse ind i et nyt landskab. Vi har måske set nogle satellitbilleder og tegnet nogle kort til at hjælpe med at finde vej. Men det er først, når vi er der – når vi ser os omkring og laver målingerne – at vi opdager, hvordan tingene hænger sammen,« siger Peter Bøggild.

> »De byggeklodser, vi har mellem hænderne, definerer ikke kun, hvad vi kan bygge, men også hvad vi kan forestille os. Først kommer materialet, så kommer ideerne.«

Derfor er den primitive tapemetode stadig et af de vigtigste redskaber for feltets forskere, og når de mødes på konferencer rundt om i verden, udveksles der ofte praktiske tips og tricks om, hvilken slags tape man har haft størst succes med at bruge.

Forskerne er ikke kun interesseret i at teste de enkelte materialers egenskaber, de vil også gerne kunne undersøge, hvordan forskellige lag arbejder sammen, og det er her, Bøggild og hans kollegers nye metode kommer ind i billedet. De har fundet ud af, hvordan de kan stable de todimensionelle lag oven på hinanden og på den måde skabe spændende nanolaminater, som de efterfølgende kan studere.

Det foregår som følger: Først bruger de tapemetoden til at findele de store krystaller, indtil de har en række todimensionelle flager. Derefter bruger de en lille »nanohånd« af plastik til at samle et af lagene op under et kraftigt mikroskop. Det gør de ved at varme den lille hånd op, så den bliver klistret og dermed klæber sig til den ultratynde flage. Derefter fører de plastikhånden ned på en ny flage og sørger for, at de to nanostrukturer bliver klemt godt sammen under en høj temperatur. Derefter køles hånden ned, så den giver slip på de to flager, der nu er klistret sammen.

Denne procedure kan gentages igen og igen, så man stabler tre, fire eller flere lag oven på hinanden.

»Uden noget særligt kompliceret udstyr kan vi altså samle de her atomtynde lag med ekstrem præcision. Vi kan faktisk manipulere og designe stof på atomniveau, noget som forskere i lang tid kun kunne fantasere om,« siger Peter Bøggild.

Hvor man som kemiker skal bruge en unik opskrift, hver gang man vil skabe et nyt stof, ser Bøggild og kollegernes klisterhånd ud til at virke med alle todimensionelle stoffer.

»Det er som at bygge med LEGO-klodser. Alting passer sammen,« siger Peter Bøggild.

DEN nye metode gør det langt nemmere at udforske de nye materialer, men det er stadig en enorm opgave, forskerne står over for, understreger Peter Bøggild.

Det mest oplagte er at begynde at forbedre ting, vi allerede har: dioder, transistorer, solceller, lyssensorer, skærme til mobiltelefoner. Den slags arbejder man blandt andet på i det omfattende europæiske forskningsprojekt Graphene Flagship, som forskerne på DTU er en del af, som de danske projekter DAGATE og NIAGRA. Her fokuserer man på ting, der kan bringes i produktion inden for en overskuelig årrække, blandt andet i samarbejde med virksomheder som LEGO og Grundfos. Men det er vigtigt også at se længere end det, mener Peter Bøggild. Ifølge ham ligger det virkelig revolutionerende potentiale i de ting, som vi endnu ikke har fantasi til at forestille os. Derfor må man også tænke mere kreativt og nysgerrigt, og det gør man blandt andet på Center for Nanostruktureret Grafen, et grundforskningscenter, hvor forskere fra DTU og Aalborg Universitet udforsker de nye materialer.

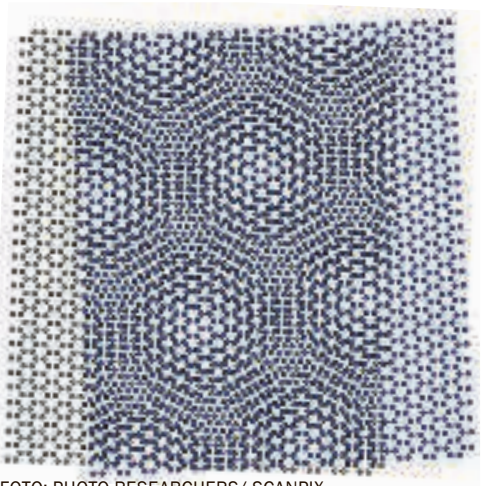


FOTO: PHOTO RESEARCHERS/ SCANPIX

Her undersøger man for eksempel, hvordan man kan udnytte, at elektriske signaler opfører sig helt specielt, når de sendes gennem grafen: De opfører sig som lysbølger, der kan afbøjes, spejles og brydes med linser og prismer. Desuden vil man forsøge at lave mønstre i de todimensionelle lag, inden man klistrer dem sammen, og på den måde lave forbundne lag på lag-chips – lidt ligesom i en computerchip, hvor man lægger forskellige kredsløb oven på hinanden.

»Vi kan programmere de her egenskaber atom for atom, men vi har overhovedet ikke fundet ud af, hvor langt dette rækker. Hvad ville en hulemand stille op med det periodiske system og et gram af alle stoffer i små glasflasker? Det ville nok tage lidt tid, før det fulde potentiale blev klart, og sådan er det også med de her materialer.«

KORREKTUR: LISBETH RINDHOLT