

Spænding opstår spontant i tynde film

Et forskerhold på Aarhus Universitet har opdaget, at der spontant opstår store elektriske felter i en række dagligdags kemikalier, når de er kondenseret til en tynd film ved meget lave temperaturer. Denne hidtil ukendte egenskab i molekulære film har fået navnet "spontelectric".

Af Peter F. Gammelby

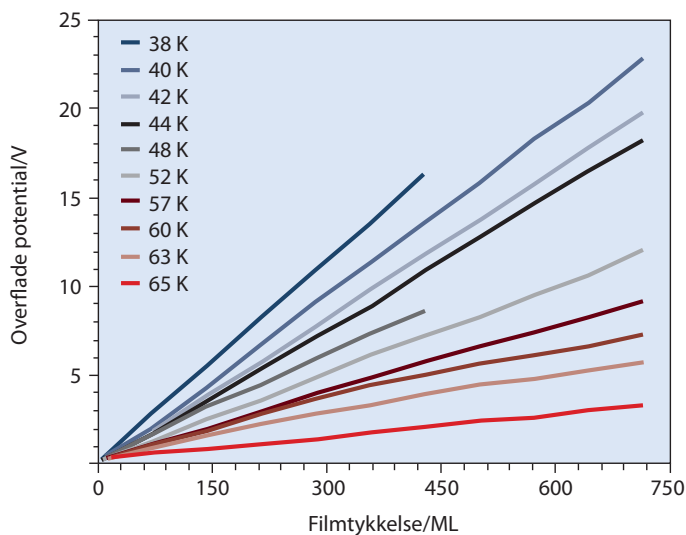
■ Forskerholdet faldt formentlig over en helt ny klasse af materialer, da de ved et lykketræf opdagede, at en tynd film af kondenseret lattergas helt spontant havde dannet elektriske felter på over 100 mio. volt pr. m. Med tynd menes her helt ned til mellem 10 og nogle få hundrede molekylelag.

Siden har holdet identificeret yderligere 11 forskellige stoffer med den overraskende egenskab, og de regner med, at tallet vil stige med den kommende tids eksperimenter.

Materialernes spontane polarisering kan have flere interessante anvendelsesmuligheder:

De kan medvirke til en ny forståelse af de kemiske reaktioner i støvskyer i rummet og dermed en bedre forståelse af, hvordan og hvor hurtigt disse skyer kolliderer og skaber stjerner.

Og på det mere jordnære plan kan effekten muligvis udnyttes til nano-xerografi, så man kan trykke eller kopiere hele sider i



Spænding i N₂O-films overflade som funktion af tykkelse (i monolag), lagt ved 10 forskellige temperaturer. Filmenes tykkelse øgedes ved succesiv tilføjelse af 71 monolag.

nanostørrelse på én gang.

Der er tale om en non-lineær effekt, hvor dipoler helt spontant orienterer sig i samme retning og skaber et elektrisk felt, som igen får andre dipoler til at rette ind og dermed skaber et

endnu større elektrisk felt.

Effekten opnås kun ved meget lave temperaturer, idet den modarbejdes af temperaturudviklingen, når dipolerne arrangerer sig efter hinanden. Foreløbig er den højeste tem-

peratur -173°C, men højere temperaturer kan meget vel være mulige.

»Effekten minder om ferroelektricitet, men vi vil endnu ikke gå så langt som at kalde de tynde film for ferro-elektriske, da vi ikke har afprøvet, om et ekstremt elektrisk felt kan vende den spontant opståede polaritet«, forklarer forskerholdets leder, professor i astrofysik David Field.

Et lykketræf

Han og resten af holdet gjorde opdagelsen ved et rent lykketræf. De havde sat sig for at observere spredning af elektroner ved meget lav energi på en tynd film af N₂O (lattergas) på 40 grader Kelvin (40K eller -233°C).

Eksperimentet blev gennemført ved hjælp af ASTRID synkrotronstrålingskilden hos Institut for Storage Ring Facilities (ISA) i kælderen under Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Først skabte de filmen ved at lade gassen kondensere, nogle få molekylelag ad gangen, på et 40K koldt

Den spontane spænding i tynde film blev opdaget ved hjælp af partikelacceleratoren ASTRID. Forskerholdet består af postdoc Andrew Cassidy (tv), postdoc Oksana Plekan (md) og professor David Field (th) samt Richard Balog og Nykola Jones.

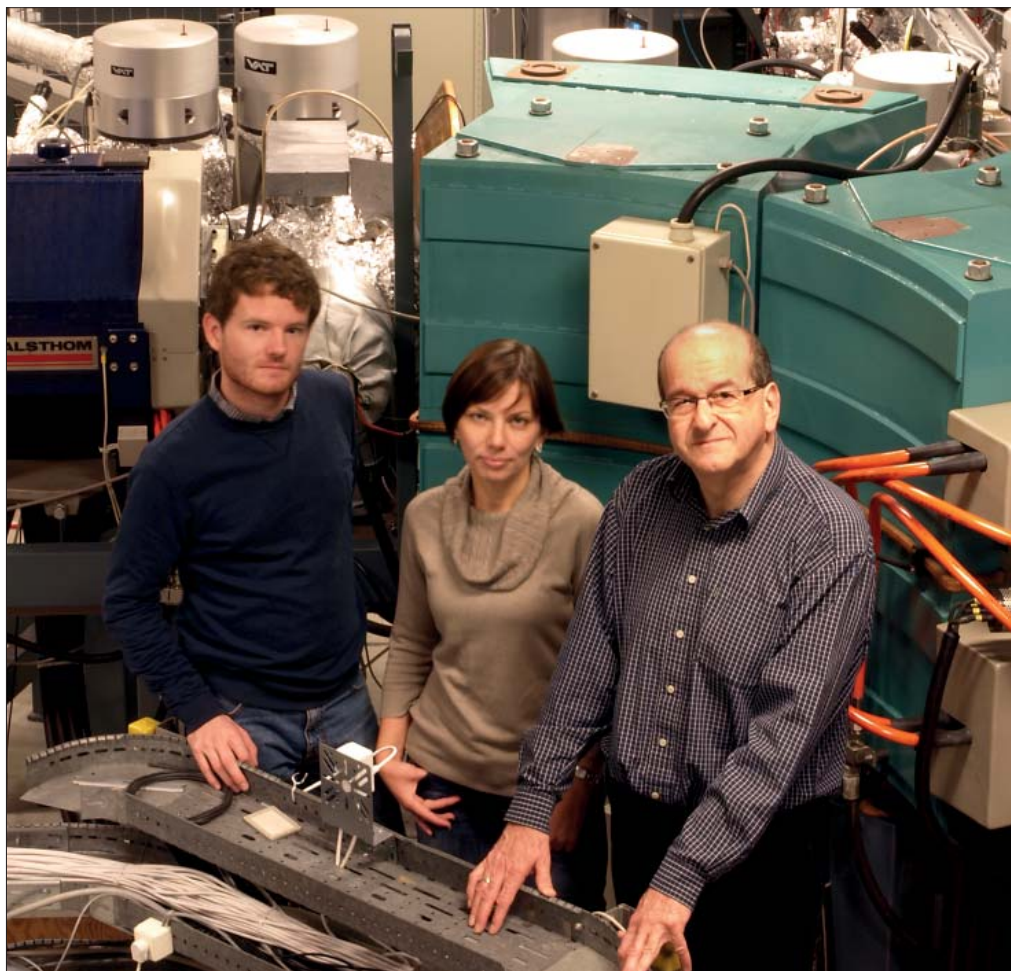


Foto: Piter F. Gammelby

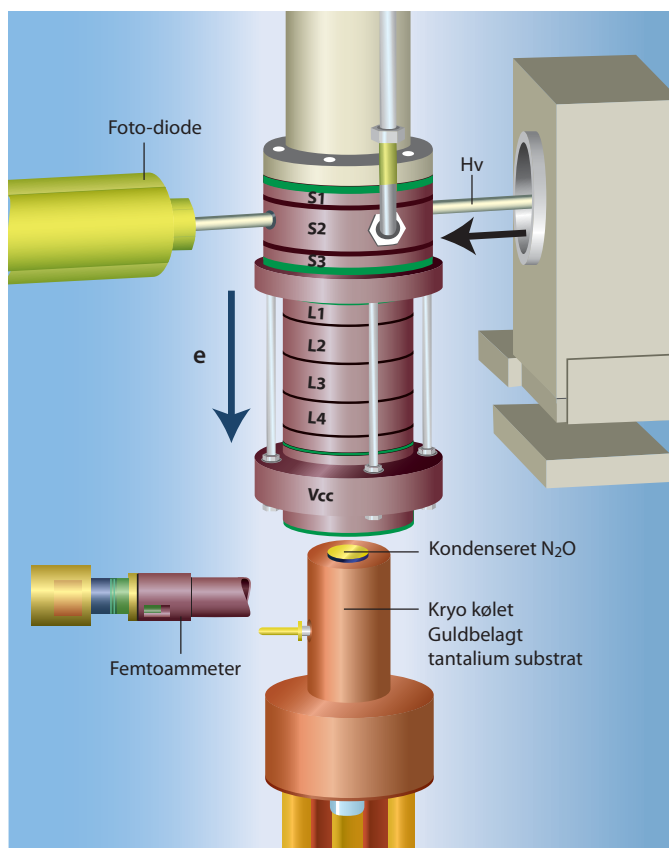
substrat af guld. Derefter sendte de en meget svag strøm, en tiendedel af en billiontedel (10^{-13}) af en ampere, af elektroner gennem et vakuum.

Elektronen kunne kun nå frem, hvis den havde energi nok, og når den nåede frem, ville man kunne måle en strøm ved hjælp af et meget fintfølede femto-ammeter. Ved at ændre den elektriske spænding på filmen kunne man imidlertid forhindre elektronen i at nå frem, og forskerne forsøgte at finde tærsklen for, hvornår elektronerne lige præcis kunne nå frem til filmen, ved at "skrue" op og ned for spændingen.

Men til deres store overraskelse registrerede femto-ammeteret strøm, selv om de havde sat spændingen til nul og filmen derfor ikke skulle tiltrække elektroner. Og den spænding, der skulle til for at stoppe elektronerne, var i en helt anden størrelsesorden end udstyret var beregnet til: der skulle en negativ bias på mere end 2 volt til for at reducere strømmen til nul.

Synkrotronstråling ($H\nu$) får argon-atomer til at frigive elektroner, som bevæger sig ned (blå pil) mod en tynd film af lattergas (N_2O), som er kondenseret ved temperaturer på 38 Kelvin og derover (den gule plet på figuren).

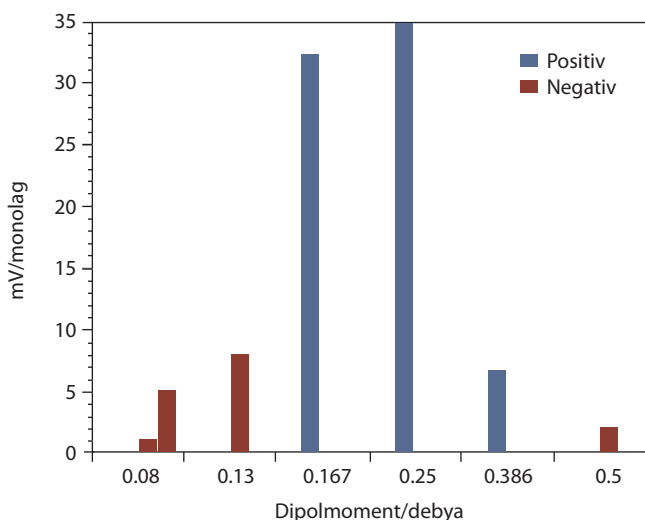
Strømmen måles med femtoammeteret. Fotodioden bruges til at opfange den synkrotronstråling som ikke absorberes af argonatomerne.



12 kendte stoffer

De 12 stoffer, som forskerholdet foreløbig har identificeret som værende i stand til spontant at skabe elektriske felter, er:

Methylformat, Ethylformat, De tre freoner 11, 12 og 13 (CF_3Cl , CF_2Cl_2 og CFCl_3), Propan, Isopentan, Nitrogenoxid, Isopren, Toluén, Trichlor-metan, og Dihydrofuran.



Det elektriske felt målt i mV spændingsforøgelse ved tilsætning af 1 monolag af forskellige materialer, fordelt efter dipolmoment (debye). Værdierne er for monolag lagt ved 40K. 0.08 refererer til propan, 0.13 til isopentan, 0.167 til lattergas, 0.25 til isopren, 0.385 toluen og 0.50 til freon-13. Røde kegler illustrerer en negativ spænding på overfladen, blå en positiv potentiale.

»Femto-ammeteret var indstillet til at måle ændringer i millivolt-størrelse, og her var vi nødt til at bruge en bias på over 2 volt, og endda til den "forkerte" side, altså negativ i stedet for positiv. Først troede vi at der var fejl i udstyret, men det var der ikke. Og vi opdagede, at når vi øgede filmens tykkelse steg spændingen i den proportionalt. Da vi nåede op på 1253 monolag, svarende til 0,4 mikrometer, var spændingen oppe på 38,4 volt, og vi blev nødt til at stoppe forsøget for ikke at ødelægge femto-ammeteret«, fortæller David Field.

Spændingen viste sig efterfølgende også at have tæt sammenhæng med temperaturen – for enhver given tykkelse stiger spændingen, når temperaturen sænkes. Det samme gælder styrken i de elektriske felter.

»Vi har endnu ikke målt højere spænding end de 38,4 volt, men det skyldes alene at vi ikke vil ødelægge måleudstyret. Spændin-

gen kan utvivlsomt blive meget højere«, siger David Field.

Simple forklaringer

Det kan måske undre, at den spontane polarisering i disse almindelige materialer først er blevet opdaget nu. Film og overflader er gennem årtier blevet studeret i mange laboratorier verden over. Teknikken med at bombardere tynde film med elektroner har trods alt været brugt i mange år.

David Field har to simple forklaringer:

»De teknikker, som hidtil er benyttet, var generelt ikke følsomme over for tilstedeværelsen af elektriske spændinger, og desuden har der altid været en tendens til at bruge meget tynde film, i hvilke de elektriske spændinger ville være svage – selv om de elektriske felter var meget stærke. Og de, der måske kunne have opdaget det, brugte stråler af elektroner, der var 100-1000 gange mere intense end

vore stråler af elektroner. Dermed har de på en brøkdel af et sekund tilintetgjort spændingen i overfladen«, siger han.

Forskerholdets forklaring på selve fænomenet er mindre simpel:

Et N_2O -molekyle er asymmetrisk med strukturen N-N-O, og molekylets elektronsky tiltrækkes mere af ilt-enden end af nitrogen-enden. Dermed bliver nitrogen-enden af molekylet en smule mere positiv end ilt-enden, og molekylet kaldes dipolært.

Med to sådanne molekyler ved siden af hinanden vil plus tiltrækkes til minus og omvendt, så de lægger sig på række. Det vil fortsætte med flere molekyler, lag for lag, og i overflade-laget stikker molekylernes nitrogen-ender op, hver især med en svag positiv ladning. Dermed skaber de spontant et elektrisk felt, som igen får andre dipoler til at rette ind og dermed skaber et endnu større elektrisk felt.

Som et økosystem

»Denne nye klasse af materialer adskiller sig fra andre derved, at systemet sætter sig selv op gennem positiv feedback. Med andre ord er det meget non-lineært i sin opførsel, lidt lige som et stort økosystem, hvor alle dele interagerer med alle andre dele i meget stor skala, i hele filmens tykkelse (også selv om filmen er relativt tynd)«, forklarer David Field.

Forskellige molekyler, som danner disse spontane spændinger og felter, har naturligvis forskellige egenskaber. Nogle har som N_2O en positiv spænding i overfladen (bl.a. isopren og toluen), mens andre har en negativ spænding (propan, isopentan og freon-13), og der er store forskelle på styrken i de elektriske felter, de skaber.

Men fælles for dem er, at felterne er stabile og meget robuste over for temperatursvingninger. Lige som magneter har flere af dem et såkaldt Curie-punkt, en kritisk temperatur, hvor deres elektriske felter forsvinder. For isopren ligger Curiepunktet således på mellem 70 og 75 grader Kelvin. ■

Om forfatteren



Peter Gammelby er journalist, Aarhus Universitet og Aktuel Naturvidenskab
pfgam@aktuelnaturvidenskab.dk

Kontakt til forskergruppen

Professor David Field,
Institut for Fysik og Astronomi
Aarhus Universitet
dfield@phys.au.dk
Tlf.: 8715 5617

Læs mere her:

<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2011/cp/c1cp22310k>