



 SIO GRAFEN

# Konferensrapport från Graphene Week 2017

Aten

Johan Ek Weis

2017-11-02

Med stöd från:



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM

## Sammanfattning

- Graphene Week-konferensen riktar sig mer mot tillämpningar och högre TRL (Technology Readiness Level) för varje år, men har fortfarande kvar ett stort fokus mot mer fundamental fysik.
- Även om många forskare fortfarande undersöker egenskaperna hos materialet grafen så börjar allt fler undersöka vad och hur grafen kan göra nytta för olika industribranscher.
- Vikten av samarbeten mellan olika företag, institut och universitet påpekades flera gånger.
- Kvaliteten och typen av grafen är avgörande för vilka egenskaper som kan erhållas. Vi borde inte fokusera alltför mycket på enlagersgrafen för alla tillämpningar, utan istället hitta tillämpningar för alla producerade tjocklekar.
- Det finns nu två publicerade grafenstandarder. Den senaste definierar vokabulären kring grafen.
- Det var ett stort svenskt deltagande på konferensen.

**Innehåll:**

Sammanfattning .....	2
Introduktion .....	4
Tillverkning .....	6
Standarder .....	8
Ytbeläggningar .....	9
Kompositer .....	9
Elektronik .....	10
Energi .....	11
Bio/Med Tech.....	11
Blandade korta kommentarer .....	12

## Introduktion

Konferensen *Graphene Week* anordnas av Graphene Flagship och ingår i en av de största konferensserierna i Europa med fokus på grafen. Den andra är *Graphene 2017-serien* som vi rapporterat från tidigare. Båda serierna utgår från akademikers/forskares synvinkel, men *Graphene 2017* är mer fokuserad mot tillämpningar, produkter och företag. Graphene Week-konferenserna följer samma utveckling som Graphene Flagship, då de inledningsvis hade väldigt mycket fokus på akademien, men nu håller på att skifta fokus alltmer mot industrin.

Varje eftermiddag erbjöds flera parallella spår i programutbudet, där ett var dedikerat till innovationer med grafen. Eftersom det var upp till fem parallella spår under konferensen är kommentarerna och lärdomarna nedan inte heltäckande, utan representerar de delar som besöktes. Flera företag höll presentationer, men inte lika många som under Graphene 2017. Det fanns även en mindre utställning där några företag och organisationer visade upp sig.

Omkring 550 personer från 41 olika länder hade anmält sig och programmet innehöll ungefär 150 muntliga presentationer och cirka 300 posterpresentationer. Konferensen pågick delvis samtidigt som GraphChina, en stor grafenkonferens i Kina, vilket gjorde att många från Asien saknades på Graphene Week.

Det var ett stort svenskt deltagande på konferensen med presentationer av Francine Amon, (RISE), Anna Andersson (ABB), Gunnar Berghäuser (Chalmers), Ivan David Bernal Villamil (Chalmers), Jonas Björk (Linköpings Universitet), Maja Feierabend (Chalmers), Karolina Gaska (Chalmers), Kari Hjelt (Chalmers Industriteknik), Hu Li (Uppsala Universitet), Vincenzo Palermo (Chalmers och CNR-ISOF), Selim Stahl (RISE) och Gemma Vall-Llosera (Ericsson Research), samt posterpresentationer av Hu Li (Uppsala Universitet), Jinhua Sun (Umeå Universitet) och Marlene Bonmann, Samuel Brem, Valentina Cantatore, Roland Jago, Grigory Skoblin, Andrei Vorobiev, Xinxin Yang och August Yurgens (samtliga från Chalmers).

Program och övrig information finns på konferensens hemsida:

<https://graphene-flagship.eu/grapheneweek/grapheneweek2017/Pages/Programme.aspx>

**Tubertini (IIT)** berättade om hur de arbetar med innovationer inom IIT. Deras syn är att akademien tar innovationer till ”proof-of-principle”. Akademien utvecklar prototyper tillsammans med industrin, medan industrin själva arbetar med uppskalning. Tubertini diskuterade även motiv för att använda Investment Readiness Level, som komplement till Technology Readiness Level (TRL). Han berättade mer specifikt om motorcykelhjälmen och sandalerna de tagit fram, där grafen ingår. Båda projekten var från början tänkta att använda grafen på ett annat sätt än de nu gör. Han tryckte därmed på vikten av att vara flexibel och öppen för nya möjligheter, men framförallt att börja experimentera med grafen eftersom man då får en bättre förståelse för materialet och dess möjligheter.

**Hjelt (Chalmers Industriteknik)** tryckte på vikten av att tillverka demonstratorer och konceptet ”demo or die” togs upp några gånger till under konferensen. Han berättade om arbetet inom Graphene Flagship med att gå från tillgångar och möjligheter, till att börja sälja produkter till kunder. Han säger att det är ett stort gap att gå från TRL4 till TRL6 och att Graphene Flagship (liksom SIO Grafen) kan hjälpa till med detta. En viktig aspekt är också att bestämma sig för vilka möjligheter man inte ska satsa på. Hjelt berättade även om de affärsutvecklare (business developers) som ska börja arbeta inom specifika områden med att skapa affärer med grafen. En av affärsutvecklarna kommer vara baserad på Chalmers Industriteknik och kommer att ha fokus på elektronikområdet.

**Reiss (Fraunhofer)** beskrev arbetet med att ta fram en europeisk roadmap för grafen. De räknar med att publicera rapporten i början av 2018. Fraunhofer har bland annat undersökt några specifika fall i detalj. Reiss berättade om situationen för grafen i superkondensatorer med tillämpning i gaffeltruckar. De kom fram till att marknaden är 2,5 miljoner euro per år. De kommer att undersöka marknadspotentialen för grafen i rostskydd, litiumjon-batterier och neurala gränssnitt, men välkomnar även fler förslag att utvärdera.

Ett etikforum arrangerades under en av luncherna. Där diskuterades det bland annat att det är ett problem att forskare ofta måste lova orealistiska resultat i sina ansökningar för att få bidrag. Detta är ett fel i systemet och inte enskilda forskares fel. Kinaret (Chalmers) invände att situationen är väldigt annorlunda inom Graphene Flagship eftersom de har sin finansiering och därmed inte behöver översälja sig själva. De lägger istället mycket kraft på att lugna hypen och hålla nere förväntningarna till realistiska nivåer.

## Tillverkning

**Castro Neto (NUS)** har undersökt grafenflagor från flera olika leverantörer och kommit fram till att kvaliteten varierar kraftigt. Castro Neto påstår att det mesta som säljs inte är grafen utan är så tjockt att det är grafit (över 10 lager). De flesta företag använder olika separationsmetoder för att dela upp materialet i olika grader eller tjocklekar av grafen/grafit. Han jämförde processen med hur olja separeras från råolja. Detta innebär också att man alltid får en fördelning av grafen och att det är omöjligt att nå 100% enlayersgrafen. Han tryckte på att det är viktigt att visa storleksfördelningen av materialet. Det är inte bara tjockleken som ofta kan missuppfattas utan även andelen syre i grafenet varierar mycket. Flera producenter uppger att de säljer grafen när det snarare är grafenoxid. Hans viktigaste poäng var att den industriella produktionen av grafen bara är i sin början, att tillämpningar inom kompositter och ytbeläggningar har ett enormt värde, men framförallt att kvaliteten betyder allt och att grafenrevolutionen bara precis har börjat.

En av metoderna att tillverka grafen är genom exfoliering av grafit (avlägsnande av skikt genom kemiska eller mekaniska processer). Liknande tekniker kan användas för att producera tvådimensionella material av andra grundämnen. De kanske mest utforskade exemplen är BN och MoS<sub>2</sub>, men Coleman (Trinity College Dublin) berättade att det visats teoretiskt att det finns över 5000 skiktade material, varav 273 är enkla att exfoliera. Eftersom materialen har olika egenskaper, finns det en väldig mängd möjligheter att skraddarsys nya tillämpningar och det finns ett 2D-material för varje tillämpning. Coleman menade att det finns fyra kriterier för att välja 2D-material att arbeta med: tillgängligheten till råmaterialet, kostnaden, potentialen i olika tillämpningar (eller vilka egenskaper materialet har) och stabiliteten.

Forskare har i flera år arbetat med utgångspunkt från enskilda monolager av olika 2D-material, och med att sätta samman dessa till mer komplexa heterostrukturer lager för lager, där egenskaperna kan skraddarsys. Detta sker redan naturligt i olika mineraler.

Nobelpristagaren Novoselov (University of Manchester) berättade om att de nu istället för att sätta ihop strukturerna lager för lager, har exfolierat en naturlig mineral ("frankeite", som består av diskreta lager i nanometerskala) till tjockleken av en endaste enhetscell. Denna hade intressanta egenskaper för till exempel energilagring, men det viktigaste var att de visade på bildningen och stabiliteten av denna typ av komplexa material.

**Okan (Nanografen)** producerar grafen genom pyrolys av gamla däck. Han visade att de får en förbättring av de mekaniska och termiska egenskaperna av glasfiber-nylonkompositer tillverkade med deras grafen. Förbättringen är inte lika hög som med grafen från andra tillverkningsmetoder, men då de använder återvunnen kol och grafit kan det vara ett intressant alternativ för vissa tillämpningar. Metoden är kostnadseffektiv och klarar stora volymer.

**Palermo (Chalmers och CNR-ISOF)** diskuterade att GO initialt hade ett dåligt rykte när det mestadels var fysiker som diskuterade grafen för tillämpningar inom elektronik. Men nu när vi går mot bredare tillämpningar inom många områden blir GO alltmer intressant eftersom det är enklare att funktionalisera. Palermo sammanfattade att fysiker föredrar grafen (för dess spetssegenskaper), medan kemister föredrar grafenoxid (för möjligheterna till funktionalisering). Problemet med GO är dock att kemin är väldigt komplicerad.

**Kim (KAIST)** berättade i sin presentation att de använder GO tack vare möjligheterna med storskalig produktion, processbarheten i vätskor och att det är relativt enkelt att kemiskt modifiera och dopa grafenoxid.

Det går att tillverka flytande kristaller med GO och reducerad GO (rGO) och att spinna dessa till fibrer. Kim (KAIST) diskuterade möjligheterna med materialet och menade att det fortfarande krävs en hel del arbete för att kunna jämföra med kolfiber eller fibrer gjorda av kolnanorör. Han menar att de största fördelarna med rGO-fibrer är att de är billiga, flexibla och leder elektricitet. Detta öppnar för tillämpningar inom flexibla komponenter och ”wearables”.

**Verguts (IMEC)** visade att högkvalitativt grafen kan tillverkas på substrat av Cu, Ge och Pt med kemisk ångdeponering (CVD). De har även använt kiselsubstrat med ett tunt lager koppar som substrat. Fördelen med detta är att grafenet kan tillverkas där det behövs utan att överföras till andra substrat. Nackdelen är att en del kisel alltid diffunderar genom metallen, vilket förhindrar grafen att täcka hela ytan.

Processen att överföra CVD-grafen från tillverkningssubstratet till det önskade substratet och utmaningarna med detta diskuterades flitigt, främst av Verguts (IMEC). Det finns flera utmaningar med överföringen. En utmaning är att det är svårt att helt få bort all kontamination från tillverkningssubstratet och de polymerer som används under processen. En annan är att

det bildas spänningar och rynkor i grafenet. Ytterligare en utmaning ligger i att vätska i ytskikten skapar problem med vidhäftningen, vilket blir ett ännu större problem vid tillverkning av strukturer där flera tvådimensionella material staplas på varandra för att få nya egenskaper eller tillverka kretsar. **Novoselov (University of Manchester)** berättade att det krävs att adhesionen mellan de två lagren är starkare än adhesionen till eventuella föroreningar för att gränssnitten ska bli riktigt bra. Även till exempel **Romagnoli (CNIT)** och **Lemme (RWTH Aachen)** diskuterade ämnet och berättade att de är hoppfulla om att utmaningarna kommer att lösas. Ett tips för att komma runt flera av problemen ligger i att överföra små areor av grafen istället för att deponera grafen över hela skivorna.

## Standarder

Många använder ordet grafen på olika sätt och behovet av standardisering togs upp flera gånger. När man diskuterar definitionen av grafen brukar de flesta hålla med om att definitionen är något liknande ett lager av kolatomer i en tvådimensionell struktur. En ISO-standard publicerades nyligen, vilken definierar nomenklaturen kring grafen och övriga 2D-material, se nedan. Men hur ordet grafen verkligen används idag, varierar en hel del. Många grafenproducenter använder ordet grafen för betydligt tjockare strukturer, vilket kan vara förbryllande. **Palermo (Chalmers och CNR-ISOF)** diskuterade att grafen inte är ett material utan snarare en typ eller klass av material och att det vi känner till om 2D-material bara är toppen av ett isberg.

Det arbetas mycket på att få till stånd en standardisering av grafen, men det mesta sker bakom stängda dörrar. Det finns för närvarande två publicerade standarder. Den första är om mätningar av den elektriska ledningsförmågan med ”resonant cavity”-mätningar. Den andra publicerades nyligen och behandlar nomenklaturen av grafen. **Pollard (NPL)** berättade att det tagit 5 år att gå från koncept till publikation av vokabulären. Det tar så lång tid eftersom alla måste vara eniga. De viktigaste definitionerna innebär att grafen är ett lager av kolatomer, fålagersgrafenen (”few-layer graphene”), det består av 3-10 lager, medan strukturer som är omkring 1-3 nm tjocka bör benämnas ”graphene nanoplate” och ännu tjockare material för grafit. De arbetar nu på flera stycken andra standarder inom ISO.



**Jarrahi Cinker** berättade om National Graphene Association som är en organisation som försöker samla och främja kommersialiseringen av grafen i USA. Hon tryckte på vikten av standarder och en nomenklatur kring grafen.

## Ytbeläggningar

**Palermo (Chalmers och CNR-ISOF)** visade potentialen för grafenoxid som en ytbeläggning på kommersiella elektroder för elektrokemiska biosensorer. Sensorerna var betydligt känsligare än dagens ”state-of-the-art”, men selektiviteten är fortfarande en utmaning som de arbetar vidare på.

Eftersom inte ens helium kan ta sig igenom ett grafenskikt så har det forskats mycket på olika typer av filter med grafen. **Nair (University of Manchester)** visade hur de kan kontrollera filterstorleken genom att ändra luftfuktigheten. De kan på det sättet kontrollera storleken på partiklarna som går igenom filtret. Eftersom grafenet är tvådimensionellt kan filtren göras väldigt tunna, vilket gör det möjligt med ett väldigt högt genomflöde. Deras teknik är även billig, stabil och kan tillverkas i stor skala.

## Kompositer

Möjligheten att använda grafen i skyddsmaterial diskuterades. **Gago (Technical University of Cartagena)** har tagit fram kompositer med grafen och glasfiber i polyester. Han visade att E-modulen och slagtlågheten ökar med drygt 10 % redan med 0,25 % grafen, vilket inte förändrades med mer tillsatt grafen. Skottskyddet förbättrades dock ju mer grafen kompositen innehöll. De testade upp till 1 % grafen, vilket gav en förbättring med över 70 %.

**Andersson (ABB)** utvecklar grafenbaserade kompositer för elektriska kontakter med silver och visade att det räcker med så lite som 0,01 % grafen för att avsevärt reducera friktionen och nötningen. Hon jämförde med grafit och visade att det krävs betydligt mer grafit än grafen för att uppnå samma prestanda.

Oftast när grafen diskuteras i olika tillämpningar framhålls fantastiska egenskaper inom mekanisk hållfasthet, barriärer eller ledningsförmåga. En annan väldigt viktig aspekt framhölls av **Jara (Airbus)**. Jara berättade att det viktigaste för Airbus är att

tillverkningsstakten/produktionstempot kan öka med grafen. De är givetvis intresserade av andra tillämpningar, såsom förbättring av ljudnivån, emission, kostnad, avisning, samt av superkondensatorer för strömförsörjning i bland annat nödsystem.

**Baker (National Graphene Institute)** påstod att grafen med 3-5 lager kanske är bäst i många kompositer, men att det ibland även kan räcka med tjockare ”graphene nanoplatelets” (GNP). Baker berättade att bilen som tillverkats med grafen i vissa karossdetaljer kunde göras 30 kg lättare med bibehållna egenskaper tack vare GNP.

**Pastore (FORTH)** diskuterade att flera faktorer är viktiga för att få en bra koppling mellan grafenet och matrisen i en komposit. Hon nämnde främst formen, dopingen, funktionaliseringen, typen av grafen, storleken och antalet grafenlager.

## Elektronik

**Vall-Llosera (Ericsson)** visade att Ericsson främst är intresserade av grafen inom fotonik och optoelektronik. Hon visade de tekniska förväntningarna på 5G-teknologin och vad som krävs av grafen för att ingå i deras optoelektronik. Teknologin måste bland annat vara CMOS-kompatibel, vara fri från kromatisk dispersion, klara över 100Gb/s till en kostnad på 1\$/Gb/s och energiförbrukning i pJ/bit. Hon bedömde att de nu ligger på TRL 3 med grafen.

För några år sedan förväntades en av de största tillämpningarna med grafen vara att ersätta ITO (indiumtennoxid), som är det genomskinliga elektriskt ledande lagret i skärmar. Detta ses inte längre som lika troligt då priset på ITO sjunkit, att de inte nått förbättrade egenskaper, samt att det är svårt att integrera grafenet i den befintliga tillverkningen. Den stora fördelen med grafen jämfört med ITO är att grafen är flexibelt. **Ahn (Yonsei University)** diskuterade därför att han inte tror att grafen kommer att integreras på glas i skärmar på telefoner och surfplattor utan att den stora möjligheten ligger i att tillverka flexibla tillämpningar. Han jämförde även MoS<sub>2</sub> med kisel på ett liknande sätt där han menade att MoS<sub>2</sub> inte kommer slå ut kiselteknologin utom inom vissa specifika områden, såsom optoelektronik och flexibla tillämpningar. Han visade några exempel på flexibla och transparenta trycksensorer och pekkskärmar, liknande det han visade under Graphene 2017-konferensen. De visade bland annat prov på multi-touch respons, sträckbara sensorer och tryck-känsliga (3D) sensorer.

**De (Yonsei University)** har nu även gjort fotodetektorer som kan spåra riktningen på ljus. De tillverkade genomskinliga 3D-strukturer baserade på MoS<sub>2</sub> och grafen som kunde bestämma riktningen till ljuskällan med en responstid på 0,7 sekunder. Fördelen jämfört med liknande kommersiella detektorer är att de grafenbaserade är tio gånger mindre och **Ahn (Yonsei University)** tror att de kan göras betydligt mindre.

Flera grupper undersöker emitterar som kan sända enskilda fotoner för fotonikkomponenter direkt på enskilda chip. Det mesta av arbetet handlar om att förstå hur och varför de uppkommer. **Bratschitsch (University of Münster)** fokuserar på hur de kan användas och integreras med annan teknologi istället för att utforska uppkomsten. De använder främst GaSe, WS<sub>2</sub> samt WSe<sub>2</sub> och visar att de är lovande som ljuskällor i integrerad kvantteknologi.

Den teknologi som nu används som standard för resistans är dyr och kräver både höga magnetfält (>14T) och låga temperaturer (<1K). **Melhem (Oxford Instruments)** visade att deras lösning baserad på epitaxiell grafen på SiC fungerar vid 5T och 4K samt kan göras billigare med mindre utrustning.

## Energi

**Bondavalli (THALES)** berättade om deras arbete med att göra superkondensatorer av grafen. De är mer intresserade av superkondensatorer än batterier eftersom de kan laddas och urladdas väldigt snabbt, har längre livscykel med bättre effektivitet, bra reversibilitet och hög effekt med låg värmeutveckling. Nackdelen är främst att bara omkring en tiondel av energin kan lagras jämfört med batterier och att det krävs sofistikerad kontrollutrustning. De har undersökt både grafen och grafenoxid. Fördelarna med grafenoxid är främst att det är enklare och billigare att arbeta med (vattenbaserade och stabila suspensioner) medan grafenet ger bättre effekttäthet (omkring 100 kW/kg jämfört med omkring 30kW/kg).

## Bioteknik

Det är viktigt att hälsoriskerna med grafen undersöks. Det är mestadels huden och lungorna som riskerar att exponeras av grafenbaserade material. **Prato (University of Trieste)** har därför undersökt hur olika typer av grafen påverkar huden. De kom fram till att grafen var

mindre reaktivt än grafenoxid och att det behövs stora mängder grafen eller grafenoxid, samt långa exponeringar för att påverka huden.

**Prato (University of Trieste)** berättade att grafenmaterial bestående av några få atomlager (FLG) kan penetrera monocyter, men inte andra celler. De använde detta och visade att FLG selektivt kan döda cancerceller, utan att påverka andra typer av celler.

**Jara (Airbus)** diskuterade att kunskapen kring hälsorisker är en stor utmaning som vi måste lösa snart.

Det ställs många olika krav för att ett material ska kunna användas i människokroppen. Förutom att det måste vara säkert berättade **Garrido (ICN2)** att det behöver vara kemiskt stabilt, biokompatibelt/bioinert, ha hög känslighet, lågt brus, bra elektrokemisk prestanda samt kunna vara flexibelt. Eftersom allt detta är möjligt med grafen är materialet väldigt intressant i flera olika tillämpningar. Garrido fokuserade på tillämpningar med grafen för att registrera signaler och stimulera till exempel olika nerver. Han visade att de använder fälteffekttransistorer baserade på grafen med en elektrolyt-gate. De kan tillverka dessa i fyrtumsskala på flexibla substrat. De får betydligt bättre signal till brusförhållande jämfört med dagens teknologi som är baserad på platina.

## Blandade korta kommentarer

- **Baker (National Graphene Institute)** framhöll att grafen fortfarande är ett ungt material och att vi behöver hantera förväntningarna.
- **Vall-Llosera** påpekade att de marknadsprognoser som publicerats handlar om materialet grafen och inte de produkter som grafenet möjliggör.
- **Andersson (ABB)** visade att det kan vara väldigt viktigt att rengöra grafenet.
- **Pollard (NPL)** framhöll att reproducerbarheten är en stor utmaning.
- Zurutuza visade att Graphenea är det första grafenföretaget som är REACH-certifierat, vilket innebär att de får producera mer än ett ton grafen per år i Europa.
- **Kim (KAIST)** berättade att de diskuterar möjligheterna till samarbete mellan Nord- och Sydkorea. De vill koppla ihop den högkvalitativa grafiten som finns i Nordkorea med grafenindustrin i Sydkorea.

- **Baker (National Graphene Institute)** berättade att de har gått ifrån att undersöka vad grafen är till vad grafen kan göra inom olika industrier. De planerar att starta ett center senare i år eller nästa år som ska hjälpa till med standarder och verifikation av grafen.
- **Jara (Airbus)** berättade att de har jättemånga olika idéer med grafen men att de vill få in en första tillämpning på ett flygplan så snabbt som möjligt, eftersom detta skulle ge mycket bra publicitet och öppna upp för fler tillämpningar.
- **Vall-Llosera** citerade Dresselhaus som förutspått att ”grafnen kan bli för detta århundrade vad kisel var för 1900-talet”.