



 SIO GRAFEN

Rapport från konferensen Graphene 2018, Dresden

Johan Ek Weis

2018-08-14

Med stöd från:



FORMAS



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Sammanfattning

Det forskas fortfarande mycket på materialet grafen och många nya intressanta resultat redovisades under konferensen ”Graphene 2018”. Kanske ännu viktigare är att fler och fler produkter med grafen tas fram. Det finns ganska många olika produkter på marknaden nu och många olika pågående utvecklingsprojekt diskuterades.

Grafen har många fantastiska egenskaper som har gett upphov till många spännande idéer för olika tillämpningar. Många av dessa har visats i försök i labbskala och ligger nu i processer för att skala upp tillverkningen för industriella tillämpningar.

En vanlig fråga är hur stora hälsoriskerna är med grafen. Det forskas mycket på detta och inget avskräckande har upptäckts. Detta innebär däremot inte att det är helt ofarligt. En vanlig praktisk tumregel som bland andra **Nestle (BASF)** diskuterade är att man ska undvika att andas in rent grafenpulver, medan risken reduceras till en minimal nivå så fort materialet är i en matris. En komposit som innehåller grafen kan till exempel behandlas precis likvärdigt som motsvarande komposit utan grafen.

Utvecklingen av andra tvådimensionella (2D) material utöver grafen ligger generellt några år efter motsvarande utveckling för grafen. Goda resultat för tillverkning av h-BN, MoS₂ och WS₂ med kemisk ångdeponering (för tillverkning av filmer) har visats i labbskala och utvecklas nu för produktion i större skala. Det krävs dock fortfarande utveckling av bra överföringsprocesser från produktionssubstratet till användningsmaterialet (vilket oftast innebär överföring från koppar till kiselsubstrat).

Innehåll:

Introduktion.....	4
Tillverkning.....	5
Elektronik.....	8
Energi.....	10
Sensorer.....	11
Komposit.....	6
Ytbeläggning.....	7
Annat.....	12

Introduktion

Konferensen Graphene 2018 ingår i en av de största konferensserierna i Europa med fokus på grafen. Den andra är Graphene Week-serien som anordnas av Graphene Flagship. Båda konferenserna utgår från akademikers/forskares synvinkel, men Graphene 2018 är mer fokuserad mot tillämpningar, produkter och företag. Under konferensen var två parallella spår med ca 40 presentationer i sammanlagt 3 heldagar helt dedikerade åt ett industriellt forum och över 50 organisationer hade utställningar. Detta var ungefär samma upplägg som förra året.

Konferensen hade omkring 650 deltagare och det var närmare 250 muntliga presentationer och över 200 posterpresentationer. Det var upp till sex parallella spår under konferensen. Dessutom anordnades ett seminarium för samarbeten mellan europeiska och kinesiska organisationer samt ett seminarium om standardisering av grafen. Kommentarer och lärdomar här nedanför är därför inte heltäckande, utan representerar de delar som besöktes. Fyra av talarna kom från Sverige: Venkata Kamalakar och Yuanyuan Han från Uppsala universitet, Johan Liu från Chalmers och Kari Hjelt från Chalmers Industriteknik/Graphene Flagship, och en poster presenterades av Ismael García Serrano från Uppsala universitet.

En nackdel med konferensen är den korta tiden som är avsatt för posterpresentationer. Det gör att det kan vara svårt att hinna diskutera med posterpresentatörerna. I övrigt fungerade det mesta bra.

Schema, deltagarlista och övrig information finns på konferensens hemsida:

<http://www.grapheneconf.com/2018/index.php>

Tillverkning

Många olika metoder kan användas för att tillverka grafen vilket resulterar i att kvaliteten på materialet varierar. **Hofmann (University of Cambridge)** gick snabbt igenom utvecklingen av kemisk ångdeponering (CVD) för att framställa grafen. Metoden kan nu ge grafenmaterial av väldigt hög kvalitet, men grafenet tillverkas på ett metallsubstrat (oftast koppar) och överföringen från detta kan skapa defekter eller introducera föroreningar som kan försämra kvaliteten. Flera av talarna återkom till att detta är en av de stora utmaningarna som nu behöver lösas för att grafenkomponenter ska kunna ta nästa steg i utvecklingen och kunna användas i stor skala. Hofmann nämnde en ny skalbar överföringsmetod som de utvecklat vilken ger grafen med bra kvalitet. Han visade ett exempel på grafen med en mobilitet på $70\,000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ i rumstemperatur.

Ett alternativ till att utveckla en bra överföringsmetod är att tillverka grafenet på plats där det behövs. Dagens metoder resulterar oftast antingen i material med väldigt låg kvalitet eller att en för hög temperatur används, vilket gör att det inte är helt CMOS-kompatibelt (det vill säga inte är kompatibelt med de processer med vilka elektronik tillverkas idag). **Kim (Samsung)** visade deras strategi som innebär att de avsiktligt tillverkar grafen med väldigt små korn för att få en homogen och reproducerbar yta i en CMOS-kompatibel process. Samsung kan tillverka grafenet på TiN eller Si med acetylen som startmaterial och visade att grafenet kan användas som diffusionsbarriär eller för att minska den totala resistansen av ”interconnects” (kopplingar mellan olika lager i elektronik). **Barbosa (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro)** diskuterade en liknande metod där de använder lägre tryck i reaktorn för att tillverka grafenet vid lägre temperaturer.

Utvecklingen av metoder för att framställa andra 2D-material utöver grafen ligger generellt några år efter motsvarande metoder för grafen. **Hofmann (University of Cambridge)** berättade om deras metod för att tillverka hexagonal bornitrid (h-BN) med CVD. Han visade att det krävs fler sekventiella steg jämfört med tillverkning av grafen, men de kan nu tillverka ett lager av h-BN i form av stora homogena filmer.

Bianco (CNR-NANOTEC) berättade att de utvecklar en teknik för storskalig produktion av WS₂ och MoS₂ med CVD. De arbetar mot att kunna tillverka korn i centimeterskala bestående av ett fåtal atomlager.

Motta (Talga) har rättigheter till grafitgruvor i Sverige och berättade att de använder en elektrokemisk process för att omvandla grafiten till flagor av grafen. Deras process kan skalas upp för att tillverka stora volymer av ”industrial quality graphene”. De fokuserar främst på tillämpningar inom områdena kompositier, ytbeläggningar för rostskydd, byggmaterial och litiumjonbatterier. Hon visade lovande resultat där grafen används som anodmaterial i batterierna, i epoxiprimer för ökat rostskydd och att grafen ger ökade mekaniska egenskaper i epoxikompositier.

Det finns flera företag som tillverkar och säljer grafenoxid (GO). Det som **Wendelbo (Abalonyx)** främst framhäver är att de har vidareutvecklat Hummers metod så att den blir en betydligt mer säker process. De har gjort tester som visar att de kan skala upp processen på ett säkert sätt. Nu när de skalar upp processen kommer de även kunna sälja grafen som är dopat och funktionaliserat på olika sätt. Under sin presentation diskuterade Wendelbo även hur stor produktionsvolym som förutspås vara nödvändig för att grafenoxid skall vara intressant för olika marknader.

Bonaccorso (IIT) diskuterade olika tillverkningsmetoder av grafenflagor och främst deras egen utveckling av ”wet jet milling”. De kan nu producera 2 liter grafenbläck per timme med innehåll på omkring 10 mg/ml. De planerar att skala upp detta till 500 liter per dag inom en snar framtid.

Som kuriosa kan nämnas att **Müller (Max Plank Institute)** visade hur de syntetiserar ett grafenliknande material i form av ”nanoribbons” för att kunna studera materialets egenskaper, främst egenskaper som beror på grafenflagors kanter. Målet med detta var att skapa ett mer definierat material som bland annat kan användas i olika elektriskt ledande formuleringar för en rad olika tillämpningar.

Kompositier

Många olika material har utvecklats för att minska buller och annat ljud. **Nine (University of Adelaide)** berättade hur de förbättrat melaninskum med grafen för att förbättra ljudabsorptionen. Skummet har en väldigt öppen struktur där grafenet används för att stänga en del utav porerna. Detta gör att ljudet måste ta en längre väg genom strukturen och dämpas ytterligare. Ljudabsorptionen förbättrades med 60 % med grafen och ökade även brandskyddet samtidigt som det bibehöll en låg vikt och en hög mekanisk robusthet.

Horsell (University of Exeter) berättade att grafen kan användas för att tillverka termoakustiska högtalare. Dessa genererar ljud genom variationer i temperaturen och inte genom ett vibrerande membran som i de flesta andra högtalare. Temperaturen, och därmed ljudet, kontrolleras av en ström genom grafenet (Joule eller resistiv uppvärmning). En fördel med de termoakustiska högtalarna är därför att de inte behöver någon mekanisk rörelse för att fungera, vilket förbättrar hållbarheten och tekniken gör det enklare att integrera med andra teknologier. Horsell förväntar sig att detta kommer kunna leda till nya tillämpningar för akustik inom områdena metrologi, sensorer och signalbehandling.

Några företag har kommersialiserat högtalare bestående av grafenmembran. **Tutashkonko (ORA Graphene Audio Inc.)** jämförde de befintliga på marknaden och tyckte att grafenet oftast inte gav någon större förbättring. Han visade att grafenet i deras membran gjorde membranen styvare och lättare samt förbättrade värmeledningsförmågan. Han visade även upp högtalarna i utställningen där man kunde bilda sig en egen uppfattning om kvalitetsförbättringen med deras grafenmembran.

Goisis (HeidelbergCement) berättade att byggindustrin oftast är försiktiga med att testa nya material eftersom de måste garantera en lång hållbarhet med hög säkerhet. De är ändå väldigt intresserade av att se vad grafen och andra 2D-material kan uträtta i kombination med främst cement och betong, som används i oerhört många tillämpningar och volymer. De ser främst möjligheter med att göra byggmaterialen mer elektriskt och termiskt ledande. De har gjort tester som visar att ledningsförmågan kan förbättras med flera tiopotenser. Det skulle därför kunna bli möjligt att tillverka betong med till exempel avisningsegenskaper, betong som enkelt kan värmas upp eller som blockerar elektromagnetisk strålning.

Även **Zdrojek (Warsaw University of Technology)** har fokuserat på skydd mot elektromagnetisk strålning. De blandar grafen i olika kompositmaterial för att skydda mot terahertz-signaler. De tror att detta kommer bli allt viktigare nu när telekommunikationen ökar i både volym och frekvens bland annat på grund av sakernas internet, IoT. Han visade att deras kompositmaterial kan reducera signalerna med 40 dB vid 0,4 THz.

Ytbeläggning

Xiao (Qingdao DT Nanotech) berättade om grafenmodifierade ytbeläggningar av titan som de tagit fram. Han visade att grafenet förbättrar deras ytbeläggningar genom en ökad termisk

ledningsförmåga, antistatiska- och antirost-egenskaper. Han visade en ytbeläggning som framgångsrikt använts i värmeväxlare under fem års tid.

Batyrev (Tata Steel) använder CVD-grafen som ytbeläggning på nickelpläterad stål. Grafenet skyddar ytan från oxidering i över två år, medan motsvarande yta utan grafen skulle oxidera redan inom två timmar. De undersöker nu system för att kunna använda teknologin i stor skala.

Aba (Petronas) har utvecklat smörjningsmedel med grafen. Hon berättade att det är väldigt viktigt att funktionalisera grafenet och att tillverka en stabil dispersion för att nå förbättrade tribologiska egenskaper. De visade att de har lyckats tillverka smörjmedel med funktionaliserat grafenoxid (GO) som har bättre tribologiska egenskaper än motsvarande smörjmedel utan GO eller med GO som inte är funktionaliserat.

Elektronik

Albert Fert (nobelpristagare i fysik för jättemagnetoresistans, **CNRS-Thales**) presenterade möjligheter med spinntronik och topologi i 2D-material. Kopplingen mellan strömmar av spinn och ström är starkare i 2D-material än i 3D-material, vilket ger upphov till nya effekter. Olika tvådimensionella material har olika egenskaper vilka kan kombineras på intressanta sätt. De arbetar nu med att ta tillvara på detta för flera tillämpningar inom spinntronik.

Özyilmaz (NUS) berättade att de kan tillverka komponenter som de kan slå av och på med hjälp av ett elektriskt fält och som fungerar i rumstemperatur. Han utvecklade diskussionen med att det finns väldigt många bra idéer till olika elektronikkomponenter med 2D-material. En del utav dessa har blivit demonstrerade men det krävs fortfarande förbättrade metoder för att tillverka dem i stor skala. Han tryckte främst på att det behövs en välutvecklad torr överföringsprocess för att föra över grafenet till kiselsubstrat.

En av de grupper som har kommit längst med att realisera spinnkomponenter är Kamalakers grupp i Uppsala. **Kamalakar (Uppsala universitet)** visade att de tillverkar spinnkomponenter på flexibla substrat i stor skala, där komponenterna har jämförbar prestanda med vad andra har erhållit på kiselsubstrat.

En av nackdelarna med grafen i många elektronksammanhang är att det inte finns något bandgap. En del forskare studerar därför olika sorters funktionaliseringar av grafenet (till exempel med fluor eller kväve), vilket kan öppna ett bandgap. Andra undersöker istället andra

2D-material som har andra egenskaper än grafen. **Özyilmaz (NUS)** berättade att de studerar få atomlager av fosfor, som har ett bandgap. De har fått fram intressanta resultat (fokuserade på framtida spinndioder), men materialet är inte stabilt i luft utan degraderar väldigt snabbt. Därför använder de ett tillverkningssystem där materialet aldrig exponeras för luft. Trots detta har de inte lyckats tillverka komponenter som består av ett eller två atomlager fosfor, men de har fått fram intressanta resultat med flerlayersfosfor.

Philip Kim (Harvard University) visade den optoelektronik de utvecklat med 2D-material av MoSe₂, WSe₂ och grafen. Utöver att de använder 2D-material med skräddarsydda egenskaper för deras tillämpningar, tillverkar de komponenter där lager av olika 2D-material staplas på varandra. De individuella lagren kan sedan kontaktas genom kontakter på kanten av de staplade lagren. Även om detta endast blir en väldigt liten kontaktyta har det visats att det främst är 2D-materialens kanter som dominerar ledningen genom kontakter. Detta diskuterades mer ingående av **Cortadella (ICN2)** och även **Lee (GIST/ CEEDS, Korea)**.

Kim (Harvard University) fokuserar på optoelektronik och berättade att deras mest komplicerade komponent är en bipolar transistor som tillverkats med nio olika överföringssteg. De kan kontrollera energin på ljuset genom att lägga på ett elektriskt fält. Det elektriska fältet påverkar energin på de excitoner (elektron-hål-par) som skapats mellan de olika materialen (mellan valensbandet i det ena materialet och ledningsbandet i det andra) och detta bestämmer våglängden på ljuset.

Ferrari (University of Cambridge) sammanfattade sin syn på potentialen med grafen som att kiselteknologi är bra på elektronik medan grafen är bra i optiska komponenter. Det som behövs nu är att kombinera dessa delar, och att göra det i stor skala och inte bara på enstaka komponenter.

Moon (ETRI) berättade om den stora (370 mm x 470 mm) grafenbaserade OLED-panelen baserad på grafen de visade upp förra året. Han gick vidare och berättade om deras arbete att vidareutveckla detta till flexibla paneler. De har tagit fram en kompatibel process inklusive framställning och överföring av storskalig grafen och satsar nu på att kunna tillverka AMOLEDs baserade på grafen.

En representant från företaget **AMO** presenterade vad de gör inom transistorer, dioder och MMIC (monolithic microwave integrated circuit) processer med grafen. Enligt dem så visar tunnskiktstransistorer med grafen väldigt bra värden jämfört med andra material, medan

(bulk)transistorer visar sämre värden än till exempel kisel. Deras dioder med grafen visar lovande resultat, speciellt inom högfrekvensområdet. De har även visat att MMIC-processer kan användas för RF-kretsar (radiofrekvens).

Energi

Fasta material som är bra ledare av både joner och elektroner är väldigt användbara, exempelvis till exempel elektroder i batterier. **Smet (MPI-FKF)** visade att grafen, och framförallt tvålagarsgrafnen, är ett väldigt bra material för detta. De har studerat hur litiumjoner interkalerar mellan grafenlagren och att detta är en reversibel process som kan styras med hjälp av en gate. Diffusionskoefficienten för litiumet i grafen är högre än i grafit och även högre än för natriumklorid i vatten.

Tezel (Graphene Batteries) presenterade ungefär detsamma som han visade upp på SIO Grafens årsstämma i våras. De använder reducerad grafenoxid i litiumsvavelbatterier. Grafenet möjliggör en högre kapacitet och längre livslängd. De tillverkar nu batterier i labbskala och har planer på att skala upp produktionen.

Di Carlo (University of Rome) berättade att 2D-material kan fungera som väldigt bra gränssytor mellan olika material. De använder grafenflagor och titanoxid för att skapa en mesoskopisk struktur och grafenoxid eller MoS₂ i gränssytan till perovskitmaterial och tillverkar solceller med hög effektivitet. De har tillverkat moduler på 100 cm² med en effektivitet på ungefär 14 %. De har testresultat i liten skala som visar på möjligheten att nå en effektivitet på uppemot 28 %. De skalar även upp tillverkningen och kommer inom något år tillverka en solfarm på Kreta.

Liknande teknik tas också tillvara på i olika företag. **Sorbello (Greatcell Solar)** visade deras teknik och berättade att grafen kan förbättra effektiviteten och livslängden på solceller avsevärt.

Johan Liu (Chalmers) visade en grafenfilm de har utvecklat. Genom att bland annat värma upp GO-flagor till väldigt höga temperaturer (närmare 3000 °C) och pressa ihop dem har de tillverkat filmer med en värmeledningsförmåga på över 3000 W/mK. Detta är betydligt högre än andra liknande grafenfilmer och grafitpapper. Förutom själva processerna är det viktigt att använda stora flagor och det är viktigt hur dessa packas ihop. Företaget Smart High Tech AB i Göteborg har ansökt om ett patent för processen.

Pohlman (Skeleton) berättade om hur de använder vad de kallar ”curved graphene” i ultrakondensatorer. Många av deras konkurrenter använder aktivt kol, men han berättade att de får en större ytarea och färre syrehaltiga grupper med sina material. Detta leder till högre kapacitanser (180 % högre volymkapacitans än motsvarande komponent med aktivt kol) och bättre ledningsförmåga. Han rapporterade även att deras prototyper har både högre energitäthet och längre livslängd än standardceller.

Sensorer

Garrido (ICREA/ICN2) gav en överblick av flera möjligheter med grafen i biotillämpningar. Han fokuserade på tillämpningar för detektion, till exempel av hjärnsignaler, och stimulering, till exempel i näthinneimplantat. Grafenet används främst för att det är flexibelt, känsligt, kemiskt stabilt och har bra elektrokemiska egenskaper. Han tror att det kommer ta 1-2 år innan de kan börja med kliniska pilottester för att kartlägga hjärnan och att det kommer att ta ungefär dubbelt så lång tid för tillämpningar inom stimulering.

Grafen och andra 2D-material har föreslagits som användning i många olika sensorer. Grafenet är väldigt känsligt eftersom det består av så mycket yta och kan ändra sin ledningsförmåga efter en liten påverkan. Grafenet behöver funktionaliseras för att sensorn ska bli selektiv. **Ibarlucea (TU Dresden)** berättade att de använder MoS₂ istället för grafen i deras sensor eftersom det är enklare att funktionalisera. De har utvecklat en ebola-sensor med liknande prestanda som tidigare sensorer, men den är också flexibel och går att tillverka i stor skala med en relativt enkel process. Sensorn består av elektrokemiskt framställda MoS₂-flagor deponerade på Kaptonfolie.

Han (Uppsala Universitet) funktionaliserar grafen med pyrenyl-maltos. Pyren-grupperna binder till grafenet medan maltosen fungerar som sensorelement för proteinmolekyler (hon visade resultat för Concanavalin A). De använder sedan atomkraftsmikroskopi för att läsa av de molekyler som sensorn registrerat. Detta ger en upplösning på atomnivå och de kan detektera koncentrationer i nanomolar.

Gomes (University of Sydney) visade prov på flera sensorer de tillverkat där de dopat grafen med kväve och sedan deponerat nanopartiklar av koppar eller nickel. Han visade att sensorn kan detektera så låga koncentrationer glukos som 10 nM och har en känslighet av närmare 5000 $\mu\text{A mM}^{-1} \text{cm}^{-2}$.

Goossens (ICFO) visade den bildsensor de tog fram förra året och som diskuterats i tidigare rapporter från SIO Grafen. Den består av 113 000 pixlar, är helt kompatibel med CMOS och känslig i hela intervallet 300-2500 nm. Han presenterade även en UV-sensor bestående av grafen och kvantprickar integrerade på polyimidsubstrat. Dessa kan ”tatueras” på huden och varnar användaren för överexponering av UV-strålar (genom NFC-överföring till telefonen).

Emberion är ett företag som utvecklar flera olika detektorer baserade på grafen. **Bower** presenterade företaget och visade att deras produkter är känsliga i ett brett intervall (400 – 1800 nm) med lågt brus. En en-pixeldetektor för gas- och laser-detektion introduceras på marknaden nu i sommar, medan de bland annat kommer lansera en VGA-kamera för nattseende och medicinska tillämpningar under nästa år.

Bondavalli (THALES) har tidigare berättat om hur de utvecklat en sprayteknologi för att tillverka superkondensatorer med grafen. Han visade nu även hur de använder en kombination av grafen och kolnanorör. Kolnanorören förhindrar att grafenet agglomererar och istället bevarar en hög ytarea vilket innebär att mer energi kan laddas i superkondensatorerna. Kombinationen av de två materialen leder också till en högre elektrisk ledningsförmåga och därmed en högre effekt på komponenterna. De utvecklar nu sprayteknologin till ett ”roll-to-roll”-system.

Annat

Kari Hjelt (Chalmers Industriteknik) berättade om innovation inom Graphene Flagship (som är EUs satsning på grafen med 1 miljard euro över 10 år i ett samarbete med omkring 150 olika organisationer). Han berättade om flaggskeppets roll i att överbrygga klyftan mellan ”technology push” från akademien till ”market pull” från industrin. Flaggskeppet går mer och mer ifrån forskning om materialet grafen till utveckling av komponenter och hela system med grafen. Han tryckte på vikten av det standardiseringsarbete som pågår och att det behövs globala samarbeten för att ta grafen till nästa utvecklingsnivå.

IDTechEx är en organisation som bland annat gör marknadsundersökningar om framväxande teknologier. **Collins (IDTechEx)** gick igenom deras syn på utvecklingen av grafen på marknaden. Han tycker att grafen är ett fantastiskt material som kan göra så mycket inom väldigt olika områden. Han tror inte att grafen kommer slå igenom inom alla dessa områden men säger att chansen är enorm att grafentechnologier kommer vinna inom en del av dem. Han tror att grafen kommer börja slå igenom ordentligt kring år 2020-2021.

Hjelt (Chalmers Industriteknik) berättade att hypen kring grafen nu är över inom de flesta områden. **Collins (IDTechEx)** håller med om detta och trycker på att detta inte nödvändigtvis är dåligt. Den stora utmaningen ligger nu i att ta sig igenom ”dödsdalen” på Gartners hajpkurva. **Bonaccorso (IIT)** diskuterade i sin presentation att det inte finns någon riktig grafenmarknad ännu. Om man tittar på siffrorna så är de ”skrattretande små”. Vi måste därför bygga upp marknaden kring grafen och detta kan ta tid. **Collins (IDTechEx)** var inne på samma linje i sin presentation och jämförde med utvecklingen av kolnanorör. Kolnanorör är i flera aspekter ett liknande material, vilket var väldigt hajpat precis innan grafen upptäcktes. Där utvecklingen först gick framåt väldigt snabbt för att sedan stanna upp i några år. Nu växer marknaden igen för kolnanorör efter att lönsamma marknader hittats och då produktionskostnaderna sjunkit.

Ahmad and Ali (NanoMalaysia) presenterade grafensatsningen i Malaysia. De fokuserar på tillämpningar inom litiumjon-batterier, ledande bläck, plast- och gummi-kompositer samt nanofluider. De satsar på att ha skapat 9 000 jobb till år 2020.

Bergholz (International Standards Consulting) berättade om processen hur standarder utvecklas. Utöver de två standarder som har publicerats (en om vokabulären kring grafen och en om mätningar av ytresistans) så arbetas det nu på drygt 30 olika standarder för grafen. Han tryckte på vikten av att utveckla dessa så mycket som möjligt. Han jämförde med mikroelektronik där övergången från 150 mm till 200 mm wafers var en katastrof. Inför skiftet från 200 mm till 300 mm utvecklades många standarder innan övergången började. Detta resulterade i att den nya 300 mm-teknologin redan från början fungerade bättre än den etablerade 200 mm-teknologin.

Cultrera (INRIM - Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica) berättade om GRACE-projektet där 8 olika organisationer från flera länder i Europa samarbetar för att utveckla guider och standarder för elektrisk karakterisering av grafen. De jämför sju olika tekniker för att mäta de elektriska egenskaperna av CVD-grafen. Deras preliminära resultat visar en bra samstämmighet mellan de olika metoderna.