

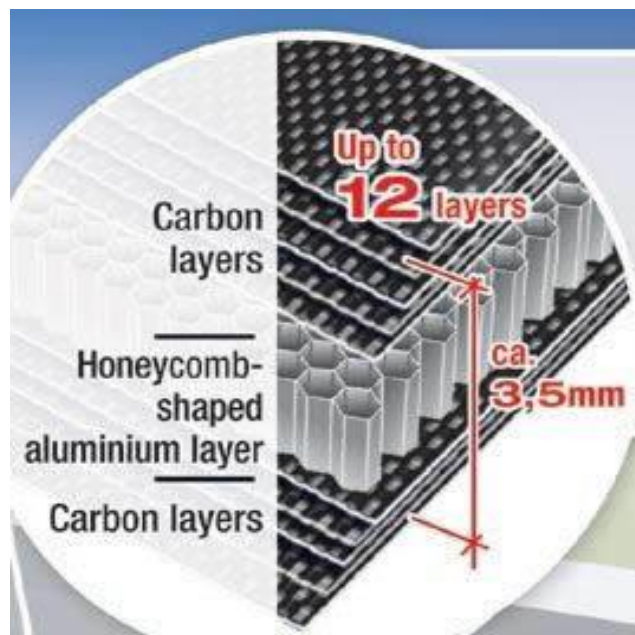
## Perspective în fabricarea de materiale și structuri compozite

Așa cum a rezultat din capitolele anterioare, materiale și structuri compozite au fost folosite mereu de oameni, începând chiar cu banalii chirpici, despre care există atestări diverse, din epoci foarte vechi. Cei mai recentți 100 de ani au adus însă evoluții surprinzătoare și tot mai spectaculoase, inclusiv pentru acest domeniu vast, iar progresele continuă, într-un ritm rapid, cum nu a mai fost cunoscut în istoria științei și tehnologiilor. În cele ce urmează vor fi sintetizate informațiile de bază despre doar câteva categorii de compozite, care sunt intens discutate și analizate în prezent, întrucât le este atribuit un potențial mare de dezvoltare pentru anii care vin.

### Compozite hibride

Sunt denumite **hibride** acele materiale compozite pentru fabricarea cărora se folosesc cel puțin două materiale de armare diferite, introduse de obicei într-o matrice polimerică (de tip rășină).

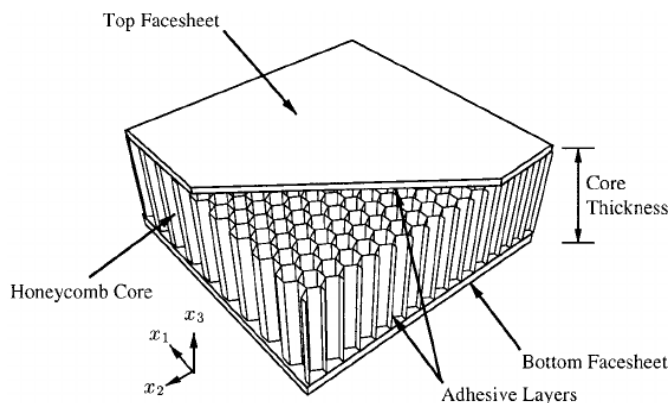
Cercetări sistematice asupra compozitelor hibride au început acum câteva decenii, fiind concentrate în principal pe combinații de fibre de carbon și de sticlă; se urmărește micșorarea, pe această cale, a costurilor de producție, prin folosirea fibrelor mai ieftine de sticlă, plasate în acele zone ale structurilor compozite în care starea de solicitare nu se află la un nivel înalt.



Placă sandwich (rigidizată prin încălzire, sub presiune) formată din două straturi de compozit (rășină epoxidică armată cu fibre de carbon), placând o structură de „faguri” din tablă de aluminiu.

Domeniul materialelor compozite hibride este foarte larg și include mai multe *sub-categorii* de compozite:

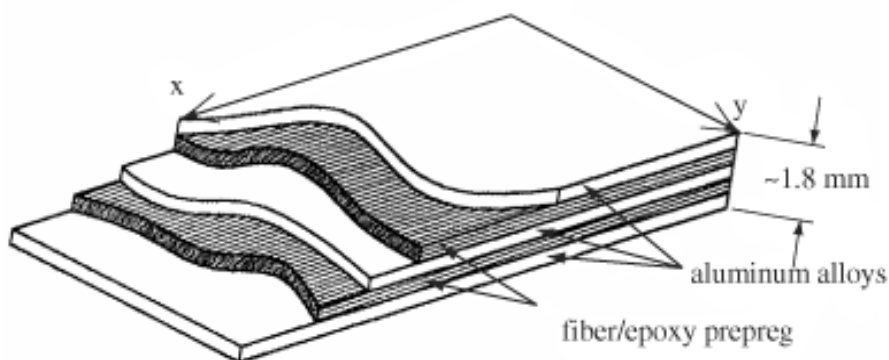
- structuri de tip **sandwich** – cea mai simplă variantă a acestora se obține cu un strat dintr-un anumit material, plasat *între două straturi* din alt material (ca în figura alăturată);



## STRUCTURI DIN MATERIALE COMPOZITE

- structuri hibride **interstrat** - stratificate alternând două sau mai multe tipuri de fibre de armare, amestecate într-un mod regulat, rezultând structuri și compoziții *diferite de la un strat la altul* din compozit;
- structuri hibride **intra-strat** - mănunchiuri (tows) din două sau mai multe tipuri de fibre sunt amestecate, *în fiecare strat*, în mod regulat sau întâmplător;
- structuri hibride „**fibră cu fibră**” - fibrele de armare sunt combinate, în aceste structuri, într-un mod *cât mai arbitrar* posibil, astfel încât să nu existe în compozit concentrații ale unui anumit fel de fibre.

**Stratificatele cu fibre și metale** (FML = Fiber Metal Laminates) sunt materiale *hibride* formate din straturi *alternate* de metal și de PMC (Polymer Matrix Composite) – armat cu fibre; aceste structuri combină avantajele metalelor (caracter izotrop, portanță mecanică, rezistență la impact, ușurință de fabricare și reparare) cu acelea ale materialelor armate cu fibre (rezistență și rigiditate de valori *specifice* înalte, rezistență la oboseală excelentă), încât posedă inclusiv rezistență la flacără și la coroziune, proprietăți bune de izolare și de amortizare a vibrațiilor, plus durabilitate înaltă.



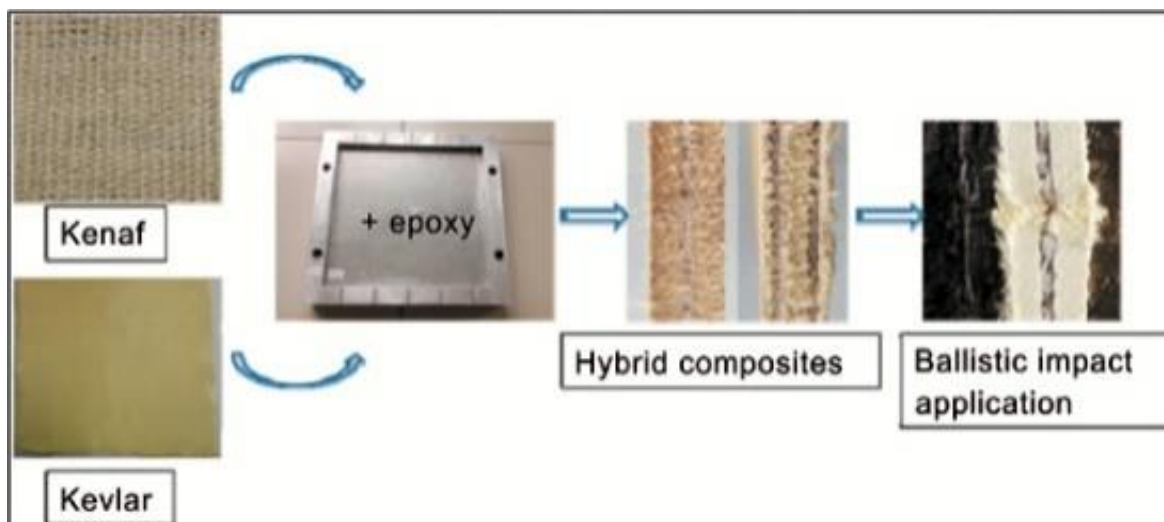
Configurația schematizată a unui compozit hibrid de tip metal/epoxid/fibre continue

Combinățiile din această categorie au fost inițiate și dezvoltate în mod special ca **structuri pentru domeniul aviației**; cele mai obișnuite se prezintă sub forma unor laminare de aluminiu ranforsate cu fibre aramidice (ARAL), cu fibre de carbon (CARAL), sau cu fibre de sticlă (GLARE); se produc și variante pe bază de titan sau de magneziu. S-a avut în vedere înlocuirea unor structuri secundare din avioanele civile, prin compozite armate cu fibre nemetalice (C, sticlă, Kevlar, sau hibride din acestea), care în prezent au ponderi importante în construcția avioanelor, cu rezultate spectaculoase în privința reducerii greutății lor, adică și a consumurilor de combustibili.

### Compozite armate cu fibre naturale

Sub denumirea FPCs (Fiber Plastic Composites) sunt cunoscute compozitele cu matrice polimerică armate cu *fibre din plante* (câneapă, in, iută, sau plante tropicale - sisal, kenaf, palmier), combinate sau nu cu diverse tipuri de fibre sintetice; aceste variante de compozite hibride sunt intens cercetate în prezent, fiind avute în vedere pentru numeroase și diverse aplicații, datorită calităților favorabile și unor avantaje importante pe care le au, față de fibrele

sintetice – densitate relativ mică, cost mic, daune mai mici aduse echipamentelor de procesare, valori bune ale proprietăților mecanice relative, posibilități crescute de finisare superficială a pieselor din compozit fabricate prin turnare, accesibilitate – întrucât provin din resurse regenerabile și abundente, flexibilitate la procesare, biodegradabilitate, efecte nocive minime asupra sănătății oamenilor.



Exemplu de compozit hibrid (fibre naturale + aramidice) pentru structuri de protecție antigloț.

### Compozite hibride folosite în aplicații structurale

**Componente de automobile** – pentru cele mai multe dintre acestea se folosesc în mod curent fibre de sticlă, combinate cu fibre de carbon și aramidice, toate fiind însă nedegradabile și



greu de reciclat; s-a constatat că fibrele naturale din plante reprezintă alternative viabile pentru fibrele sintetice; pentru a crește economicitatea, se folosesc de obicei rășini termoplastice reciclate, mai ales la fabricarea unor elemente secundare de caroserii sau a altor componente care nu sunt fundamentale în asigurarea funcționalității unui automobil; Mercedes-Benz a inițiat de exemplu folosirea plasticelor

armate cu fibre de iută pentru placarea la interior a ușilor de la modelul din clasa E; mulți alți fabricanți importanți au folosit și ei bio-fibre pentru diverse componente (scaune, placări ale portierelor și bordului, bare de protecție, elemente izolatoare etc).

Compozite de tip FRP se folosesc tot mai mult și în domeniul de **construcții navale**, pt o gamă largă de structuri ale bărcilor și vapoarelor, inclusiv echipamente ale navelor mari (fregate, distrugătoare, port-avioane, submarine).

În domeniul **infrastructurilor din construcții**, analiza deteriorării structurilor din beton armat și oțel a dus la dezvoltarea unor materiale și metode de *reabilitare structurală*, având în vedere faptul că înlocuirea acestor structuri ar fi foarte costisitoare și aproape prohibitivă; compozitele FRP (întrucât au rezistențe și rigidități specifice înalte, rezistență excelentă la coroziune, durabilitate bună) sunt alternative viabile la materialele clasice de construcții, în diferite aspecte structurale, încât s-a ajuns la consolidarea unor construcții existente sau la construcții noi de infrastructură folosind în întregime FRP.

Se apreciază că sunt folosite pe scară largă în SUA, Canada, Elveția, Japonia, de exemplu pentru a micșora efectele de deteriorare legate de sare – exercitate de apa de mare, de zăpadă, dar și de substanțele folosite pentru a favoriza topirea gheții și zăpezii care se adună pe drumuri. Grinzile de tip profile laminate din compozite FRP sau hibride s-au dovedit promițătoare pentru podurile pietonale de mică deschidere, mai ales aflate în medii marine; pot reprezenta, de asemenea, opțiuni competitive și sustenabile pentru a accelera construirea acelor categorii de poduri.



**Componente pentru sectorul energetic** – cele mai multe pale de elice pentru turbinele eoliene sunt fabricate în prezent din matrici epoxidice sau de poliester care înglobează fibre de sticlă, dar se folosesc și compozite carbon/epoxi, carbon/sticlă/epoxi, sau lemn/epoxy; folosirea acestor materiale compuse s-a extins, odată cu creșterea mărimii rotoarelor de la aceste turbine, mărime care este în continuare limitată de costul ridicat și de provocările tehnologice de fabricare.

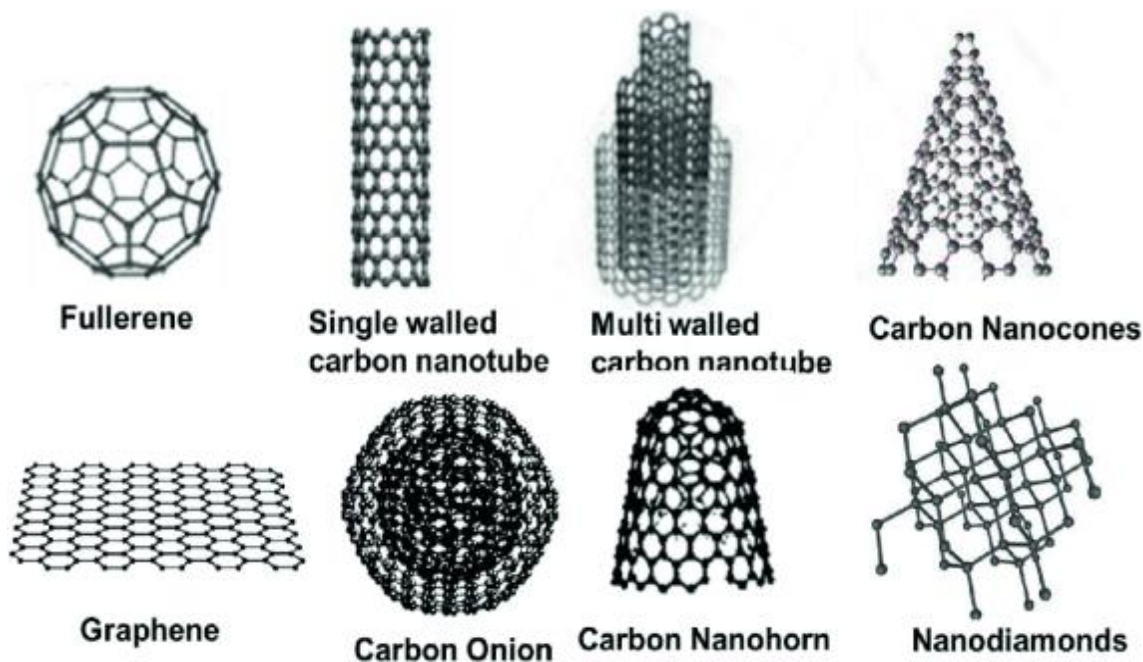
**Echipamentele sportive** moderne se fabrică mai ales din materiale cu rezistență specifică mare, durabilitate excelentă, densitate mică; aceste calități sunt regăsite din plin la compozitele armate cu fibre C/sticlă/Kevlar, dar și cu nano-materiale pe bază de carbon (CNT, nano-argile, nano-particule, fulerene), care sunt de mare interes pe această piață; astfel de componente ale echipamentelor sportive (croșe de golf și de hochei, rachete de tenis și squash, caiac-canoe, padele, plăci pentru surf, undițe, plăci de snowboard, schiuri, căști, pantofi pentru alergări, cadre de bicicletă) realizate din materiale compozite se fabrică, în mod frecvent, prin procedee de înfășurare filamentară.

## Compozite cu elemente de armare nano-metrice (nano-compozite)

### Compozite bazate pe varietăți de carbon (Carbon Nano-Materials - CNMs)

Carbonul este unul dintre primele elemente descoperite și folosite de oameni, iar formele lui alotrope clasice au fost (pentru câteva mii de ani) grafitul, diamantul și carbonul amorf (la care se adaugă și negrul de fum); câteva noi varietăți, cu o mare diversitate morfologică (nano-diamant, nano-fibre de carbon, *fulerene*, *nanotuburi de carbon* - **CNT**, *grafen* și derivate ale lor) au fost descoperite în ultimii 35 de ani, reprezentând realizări cu totul excepționale pentru cercetările din domeniul științei materialelor. Aceste varietăți sunt tot mai importante în tehnica actuală de mare performanță, întrucât manifestă calități unice (arii superficiale mari, gamă largă de porozități, stabilitate fizico-chimică, reactivitate chimică la suprafață, proprietăți favorabile mecanice și electrice).

CNM sunt recunoscute ca având un mare potențial de a dezvolta materiale noi, pentru o varietate de aplicații care se bazează pe fenomene produse la nivel nano-metric – absorbanți, catalizori, baterii, condensatoare (capacitori), celule solare fotovoltaice, celule combustibile, senzori/bio-senzori electro-chimici, materiale medicale, suporturi pentru imobilizarea bio-macro-moleculilor, transportatori de substanțe medicamentoase în interiorul organismelor.



Reprezentări schematice ale noilor varietăți de carbon.

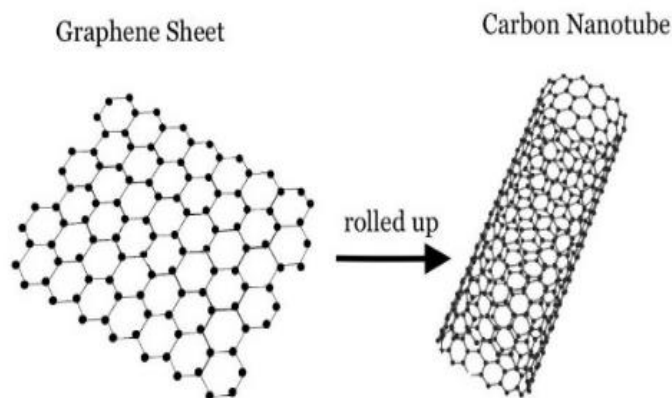
Varietățile de carbon au atras atenție semnificativă și în aplicații electro-chimice, prin ușurință de utilizare, abundență, stabilitate și caracter relativ neagresiv față de mediu. Sunt de exemplu considerate foarte promițătoare pentru fabricarea de **electrozi de mare putere**, folosiți la stocarea și conversia catalitică (electro-chimică) a energiei (super-capacitoare), întrucât posedă arie superficială mare și ușor accesibilă (accesibilitate electrolitică), porozitate înaltă, conductivitate electrică și termică foarte bună, stabilitate la temperaturi înalte, preț accesibil (față de alte variante de realizare), extraordinară stabilitate mecanică și chimică, abundență,

netoxicitate. Se folosesc pe scară largă și în alcătuirea unor structuri de tip **senzor**, pentru că au excelente abilități conductive și electro-catalitice, activitate superficială înaltă și bună biocompatibilitate.

Prima dintre aceste noi forme alotropice de carbon a fost identificată în 1985 (aducând autorilor premiul Nobel, pentru chimie, în anul 1996); această variantă există în formă moleculară discretă (adică individualizată) și constă din învelișuri *sferice* (goale la interior) alcătuite din câte 60 de atomi de carbon, astfel încât o moleculă este notată **C<sub>60</sub>**; este vorba despre grupuri de atomi de carbon, legați între ei câte 6 sau câte 5, adică formând configurații hexagonale și pentagonale; fiecare moleculă cuprinde 20 de hexagoane și 12 pentagoane, dispuse în așa fel încât să nu existe două pentagoane învecinate; în consecință, suprafața are simetria și aspectul unei mingi de fotbal.

Materialul a fost denumit „buckminsterfullerene”, în onoarea arhitectului R. Buckminster Fuller, cel care (în anii '60) a inventat *domul geodezic* (preluat în designul mingilor); fiecare moleculă C<sub>60</sub> are imaginea acestui dom, primind și denumirea prescurtată de „buckyball”; există și alte variante, de pildă molecula C<sub>70</sub> – similară celei de mai sus, dar mai mare și oarecum „strânsă în talie”. Moleculele de ordin inferior sau superior lui C<sub>60</sub> prezintă abateri de la structura domului geodezic, încât sunt mai puțin stabile decât varianta de bază, dar sunt compuse în principal tot din pentagoane și hexagoane de atomi de carbon.

Pentru clasa de materiale având acest tip de molecule se folosește termenul generic de **fulerene**; această familie mai cuprinde nano-tuburile de carbon (**CNT**), nano-carbonii „onionici” (structuri fulerenice *multistrat*) și alte nano-particule de carbon (cu structuri de tip cușcă închisă, cu pereți din unul sau mai multe straturi), având forme diverse. Toate au o structură moleculară proprie, alcătuită din unul sau mai multe straturi „grafenice”, adică straturi de atomi de carbon, în principiu grupați în rețele de hexagoane (asemănătoare cu straturile din structura de grafit, dar și din negrul de fum). Curbarea acestor grafene se datorează (de obicei) prezenței, ca defecte de structură, a unor inele carbonice pentagonale sau heptagonale. Este important de observat că toate aceste materiale, la fel ca diamantul și grafitul, au structurile formate numai din atomi de carbon!



Descoperirea CNT în 1991 a deschis o eră nouă în știința materialelor, încât au devenit unul dintre cele mai atractive subiecte în nanotehnologii; reprezintă forme alotropice de carbon cu nano-structură *cilindrică* și coeficienți de formă (raport L/D) de valori uriașe (depășind 100 de milioane), semnificativ mai mari decât la orice

alt material cunoscut; una dintre calitățile lor principale este aceea că sunt de cel puțin 100 de ori mai puternice ca oțelul, deși au o densitate de 6 ori mai mică!

Aceste nano-structuri pot fi formate dintr-un **singur strat** (*single-walled SWCNTs*) de atomi de carbon (plasați în structuri hexagonale de tip fagure), înfășurat ca tub cilindric (așa

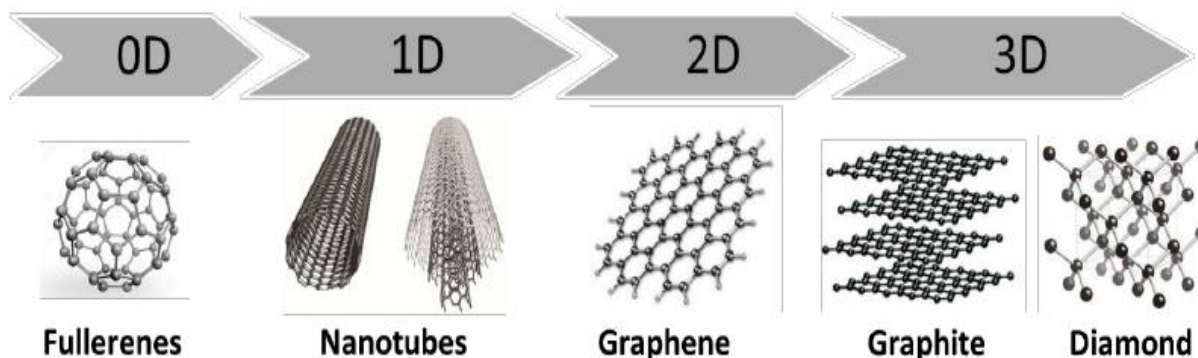
cum se arată în figura alăturată), sau pot avea **pereți multipli** (MWCNTs = *multiwalled*), fiind deci reuniri de **tuburi concentrice** (goale la interior) cu diametre crescând la nesfârșit; pot merge de la un tub interior (cu diametrul de câțiva nanometri) și unul exterior (DWCNTs = *double-walled* nanotube) până la 100 de tuburi sau mai multe (cu diametre de zeci de nanometri și lungimi de ordinul micrometrilor). Se ajunge astfel la un raport foarte bun între suprafața exterioară și volum.

Nano-tuburile sunt în principiu sintetizate folosindu-se trei metode de bază: descărcare cu arc electric, ablațiune/vaporizare cu laser (obținând calitate înaltă – defecte puține, cristalinitate înaltă, coeficienți de formă de valori foarte mari), respectiv CVD (Chemical Vapour Deposition) (folosită cel mai frecvent pentru CNT comercializate); indiferent de metodă, anumite impurități metalice rămân în probe și afectează proprietățile CNT, chiar și după aplicarea unor procedee de purificare; proprietățile finale ale compozitelor armate cu CNT sunt puternic influențate de puritate, calitate, coeficient de formă și natura impurităților.

CNT se pot folosi ca *elemente de armare* în aproape orice material, datorită tocmai acelor proprietăți fizice unice; un dezavantaj în această privință este că au tendința de agregare în mănunchiuri și de dispersare defectuoasă, de exemplu într-o matrice organică; apare necesară modificarea superficială a CNT pentru a le solubiliza, dar și pentru a le scădea toxicitatea și a le crește bio-compatibilitatea, atunci când se folosesc în aplicații medicale.

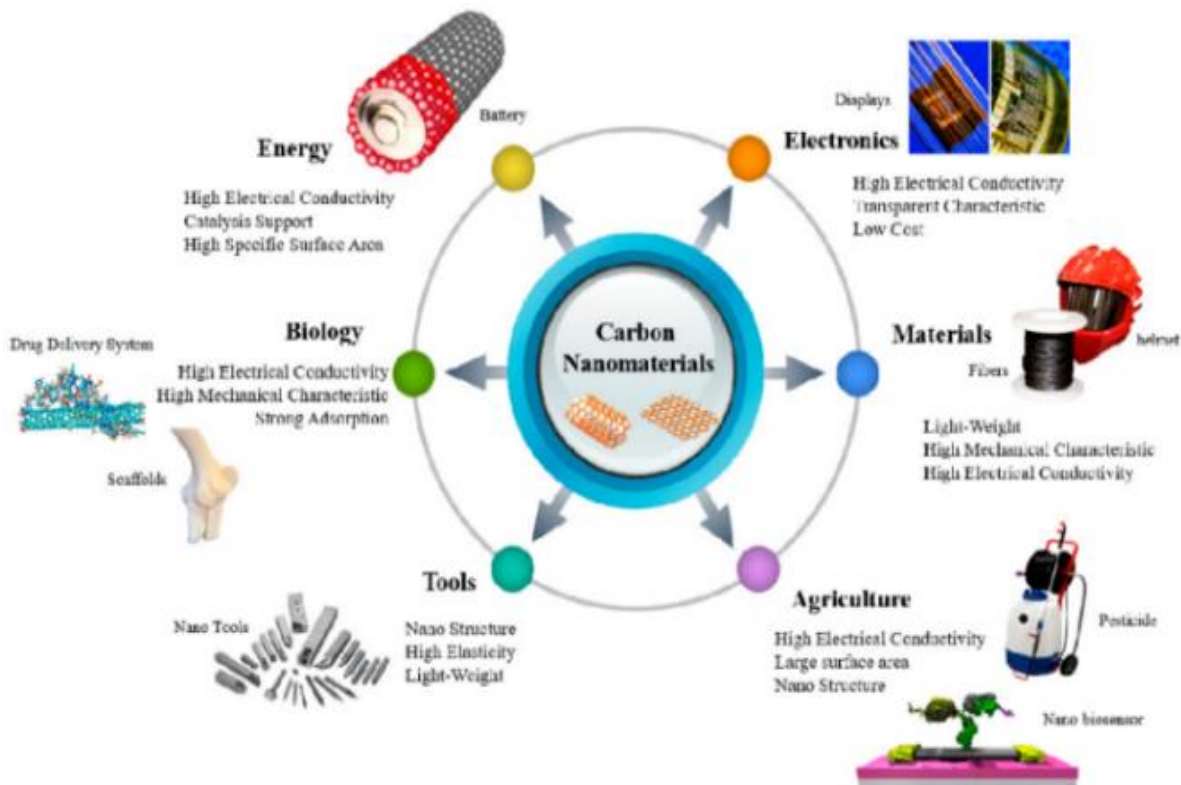
**Grafenul** este cel mai puternic și mai subțire material, concretizat într-un cristal 2-D (adică plan), compus dintr-un *singur strat de atomi de carbon*, așezați într-o rețea de tip fagure, cu inele hexagonale de câte 6 atomi; are deci grosimea de 1 atom și se obține destul de ușor, din grafit; prezintă proprietăți foarte bune electrice (excelentă mobilitate conductivă), termice, morfologice și mecanice, modul de elasticitate excepțional, arie specifică foarte mare; apare deci ca foarte potrivit pentru a fi folosit în componența diverselor dispozitive electronice de mare performanță, dar și în bio-științe și bio-tehnologii.

A fost descoperit în 2004 (autorii primind premiul Nobel, pentru fizică, în anul 2010), atunci când s-au obținut straturi independente de grafit, folosindu-se benzi adezive în scopul de a desface cristalul de grafit în fragmente mereu mai subțiri, până când s-a ajuns la plane atomice individuale; s-au creat astfel arii noi de cercetare în fizica materiei condensate și în știința materialelor, după care s-a ajuns în moduri tot mai spectaculoase la lărgirea și diversificarea aplicațiilor tehnologice.



Stările alotropice ale carbonului, clasificate după caracteristicile lor dimensionale.

Atomii de carbon exteriori ai acestor straturi au mare reactivitate chimică, fiind și mult mai numeroși față de cei de la CNT. Rezistența mecanică a grafenului este de peste 100 de ori mai mare decât a unor ipotetice filme de oțel de aceeași grosime, iar modulul de elasticitate este de aprox 1 TPa (unul dintre cele mai puternice materiale testate vreodată!). Se cercetează intens și pe scară largă, și se prevede un mare viitor pentru diverse aplicații (sugerate în schema alăturată) în domeniul construcțiilor auto și aerospațiale, dar și pentru bio-senzori, electronică, celule solare, dispozitive de stocare și de conversie a energiei.



Este foarte interesant de evidențiat faptul că grafenul poate fi privit ca element constructiv de bază pentru CNM care au orice alte caracteristici dimensionale: așezat în *straturi suprapuse* formează **grafitul 3D**, *rulat* formează **CNT** (considerate uni-dimensionale), iar *curbat și închis* formează **fulerene** (numite și zero-dimensionale!).

Până în prezent s-au propus mai multe metode fizice și chimice pentru a produce grafen individual sau derivate ale sale – exfoliere mecanică a unui bloc de grafit, creștere epitaxială pe SiC, creștere epitaxială prin CVD a unor grupări H-C pe un substrat de metal, desfacerea CNT, sau reducția chimică a oxidului de grafit. Exfolierea mecanică a grafitului pirolitic puternic orientat este considerată cea mai populară și de succes, pentru a obține straturi singulare sau câteva straturi de grafen.

Dacă scopul este de a se obține (în producție de masă) grafen folosit în aplicații electronice, se au în vedere cele 2 metode de creștere epitaxială, plus reducția chimică a oxidului de grafit – metodă folosită în aplicații electro-chimice, deși grafenul astfel obținut conține de obicei defecte structurale numeroase și grupe funcționale dezavantajoase.

Față de CNT, grafenul are **avantaje** potențiale precum cost mic, arie superficială mare, ușurința de procesare și siguranță (nu conține impurități metalice, ca CNT); este foarte

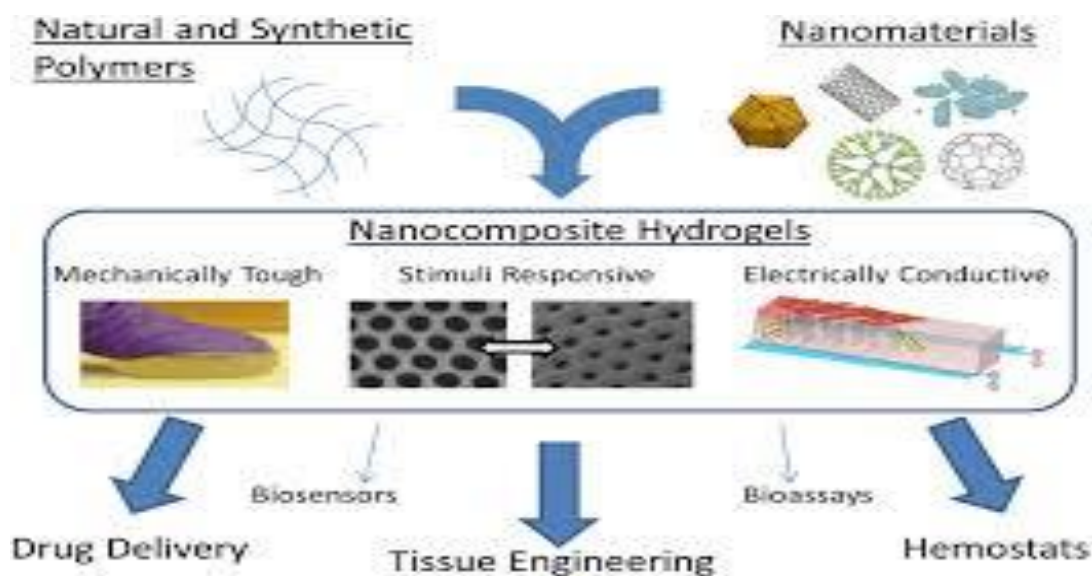


atractiv pentru producerea de bio-senzori bazați pe enzime – datorită transferului excelent de electroni favorizează activitatea enzimelor, având și o comportare catalitică remarcabilă față de micile bio-molecule.

Grafenul și derivatele lui se studiază pe scară largă în domeniul fabricării de senzori de gaze, structuri sintetice (țesuturi) din bio-inginerie, materiale avansate pentru stocarea de energie; trebuie observat că grafenul este foarte special prin micro-structura lui plană, legăturile puternice C-C și proprietățile excelente pe care aceste legături le induc (la care se adaugă o bună bio-compatibilitate). Prin realizarea unor modificări infimitezimale de micro-structură, se pot obține tipuri diferite de materiale pe bază de grafen.

### Compozite polimerice hibride (HPCMs) conținând nano-materiale de carbon

Există un interes evident și crescând pentru dezvoltarea unor compozite cu structuri *ierarhizate* (numite și *nano-structurate*, sau compozite *multi-scală*), în care un ranforsant de tip **nano** – de exemplu CNT - este cuplat cu fibre *convenționale* (adică la scară **micro**-); CNT reprezintă unul dintre cei mai eficienți nano-ranforsanți pentru matrici *polimerice*, având valori extrem de înalte de rezistență și rigiditate la tracțiune, coeficienți de formă de valori foarte mari, flexibilitate mare și densitate mică.



Nano-compozite cu matrice de hidrogel și elemente de armare nanometrică  
(plus exemple de aplicații tipice).

Schema de mai sus sintetizează, grupate pe **domenii**, cele mai importante aplicații practice ale nano-materialelor de carbon, de cele mai multe ori înglobate în compozite:

- **energie** (de ex. în construcția bateriilor performante) – unde sunt importante prin conductivitatea electrică înaltă, efectele catalitice și aria specifică de valori mari;
- **electronică** (de ex. în diversele tipuri de ecrane) – pe lângă conductivitate, sunt avantajate de transparența la diverse categorii de unde, dar și de costurile reduse de punere în operă;
- **agricultură** (nano-biosenzori, fabricarea de pesticide) și **biologie** (fabricarea de proteze);
- fabricarea unor feluri diverse de **scule** – avantajate de elasticitatea înaltă, densitatea mică, plus posibilitățile de control nano-metric al structurii obținute.

Față de alte nano-elemente de armare – nano-whiskere SiC sau nano-particule anorganice (care de exemplu sunt crescute pe fibre, cu scopul de a le întări interfața cu matricea), nanotuburile de carbon au diametre mai mici, densitate mai mică, aliniere mai ușoară în structură, proprietăți mecanice mai bune, arie superficială mai mare și coeficient mai mic de dilatare termică. Se apreciază că adăugarea de CNT în FRP reduce limitările asociate cu proprietățile dominate de matrice, realizând ranforsare atât intra- cât și inter-laminară; s-a mai observat și că îmbunătățesc rezistența la delaminare și proprietățile mecanice „pe grosime”; în plus, duc și la creșterea  $T_g$  (pragul de tranziție vitroasă – caracteristică a matricii compozitului) și la scăderea coeficientului de dilatare termică.

### **Materiale și structuri compozite multi-funcționale**

Sunt denumite structuri **inteligente** (sau *adaptive*, sau *funcționale*) – cele care sunt capabile de a *sesiza* prezența unor diverși stimuli externi (modificări de presiune, viteză, densitate sau temperatură), de a *procesa* acele informații și apoi de a *răspunde* în timp real, în manieră controlată, stimulilor respectivi; diverse genuri de aplicații folosesc mai multe feluri de senzori și de elemente de comandă (actuatori), bazate pe materiale piezo-electrice, pe unele cu memoria formei (Shape Memory Alloys - SMA), pe materiale electro- și magneto-strictive, sau pe fibre optice; ca un exemplu clasic, la NASA a fost dezvoltat un compozit SMA hibrid cu aliaj Ni-Ti (nitinol) în matrice de **compozit** sticlă-epoxi; s-au mai introdus actuatori SMA în laminate (prepreg-uri sticlă/epoxi, sau Kevlar/epoxi), având ca scop obținerea unor structuri auto-comandate.

În comparație cu **aliajele** și **ceramicile** cu memoria formei, **polimerii** cu memoria formei (Shape Memory Polymers - SMPs) au avantajul unor densități mici, cost redus, ușurință de fabricare, modificare ușoară de formă, bio-degradabilitate, puncte de tranziție vitroasă reglabile în intervale extinse; au în schimb capacitate relativ mică de modificare memorată a formei; compozitele bazate pe acestea (SMPCs) sunt studiate cu scopul de a îmbunătăți caracteristicile SMPs.

În legătură cu compozitele polimerice trebuie subliniat că ele sunt avantajoase, în principiu, față de structurile metalice, dar au și anumite neajunsuri severe, de exemplu în ce privește răspunsul la propagarea undelor, detecția și modelarea defectelor, realizarea îmbinărilor, prognozarea duratei de viață la oboseală, necesitatea unor pretensionări; se folosesc curent la fabricarea de componente din industria aero și se extind la alte domenii, incluzând transporturile (căi ferate, nave, auto), sau construcțiile civile și industriale.

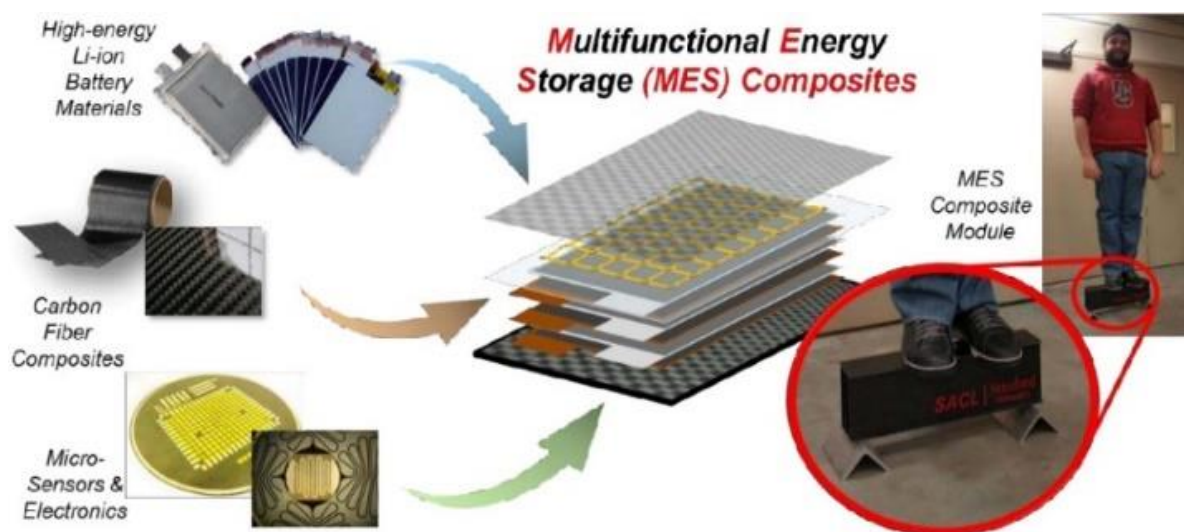
Trebuie menționat în acest context faptul, devenit evident la puțin timp după extinderea utilizării de compozite clasice cu matrici polimerice, că în cele mai multe cazuri ele nu răspund în totalitate cerințelor mereu crescânde ale diverselor categorii de aplicații inginerești, încât în mod natural a apărut necesitatea de rezolvare, prin inovare, a acestor deficiențe, de exemplu sub forma realizării unor *compozite polimerice hibride* (**HPC**); este ușor de înțeles că prin folosirea acestora se poate ajunge la performanțe de neatins pentru compozitele polimerice obișnuite – precum rezistență și rigiditate la tracțiune, rezistență la șoc și la comprimare, stabilitate termică.

## PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE

Dezvoltarea acestor compozite noi este destinată unor domenii de mare performanță, care includ și materiale *inteligente* și *funcționale*; pe de altă parte, crește și interesul în dezvoltarea de materiale și structuri **multi-funcționale**, caracterizate prin:

- (1) îndeplinirea unor funcții structurale multiple, în vederea cărora trebuie să posede rigiditate și rezistență mecanică de valori ridicate, capacitate de amortizare a vibrațiilor, tenacitate mare la rupere;
- (2) structuri care preiau încărcări mecanice, având și capacitate de control pentru zgomote și vibrații, de izolare termică, de auto-reparare, sau de acumulare și stocare de energie;
- (3) reunire a primelor două, au drept componente materiale, compozite și structuri multi-funcționale; proprietățile finale sunt conferite atât de materialele utilizate, cât și de particularitățile structurii realizate.

Multi-funcționalitatea este perfect exemplificată de **CNT**, care au în mod inerent rezistență mecanică înaltă și conductivitate electrică, astfel încât pot să asigure simultan îndeplinirea unor funcții de comandă și de senzori; tot multi-funcționalitate se obține prin introducerea de CNT în polimeri, de exemplu în combinații cu pulberi de fier, care conferă rezistență mecanică și conductivitate electrică; în mod similar, înglobarea unor astfel de particule în polimeri „imprimați” (fabricați prin imprimare 3D) sau aflați în stadiu de micro-gel duc la fabricarea de *nano-compozite multifuncționale*.



Schematizarea unor compozite multifuncționale folosite la dispozitive pentru stocarea de energie (cu exemplificare la construcția unui senzor pentru măsurarea greutateilor).

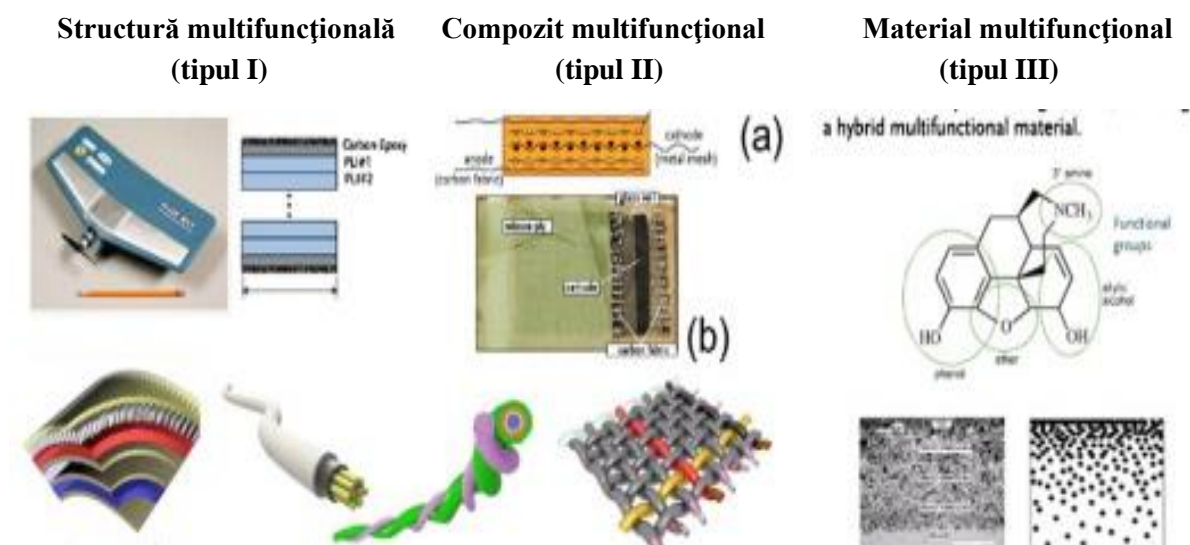
Se consideră că multi-funcționalitatea poate fi *structurală* sau *nestructurală*, după rolurile îndeplinite; materialele cu funcții *structurale* multiple (de tip tenacitate, rigiditate, ductilitate, rezistență la oboseală și amortizare de vibrații) sunt materiale **structural multi-funcționale**, pe când altele îndeplinesc funcțiuni *nestructurale*, de exemplu reglând conductivitatea termică și rezistivitatea electrică ale materialului final.

**Compozitele multi-funcționale** reprezintă așadar noua generație de materiale ingineresti avansate, de înaltă tehnologie, care îndeplinesc simultan două sau mai multe funcțiuni - de

## STRUCTURI DIN MATERIALE COMPOZITE

exemplu suportă încărcări mecanice, dar și livrează sau stochează energie electrică, sau au proprietăți balistice și de scut electro-magnetic. Se grupează de obicei în 3 categorii:

- cele folosite în aplicații *structurale* - au tendința unică de a-și echilibra proprietățile în diferite condiții de solicitare, prin activarea unor mecanisme diferite de disipare a energiei ori de preluare a încărcărilor; compozitele nano-ranforsate sau sistemele multiscală sunt exemple tipice;
- cele cu funcțiuni *nestructurale* – de exemplu de auto-reparare a defectelor („self-healing”), acumulare de energie, monitorizare a integrității structurale;
- cele care îndeplinesc o *combinație* de funcțiuni structurale și nestructurale, pentru a crește performanțele mecanice sau pentru a favoriza creșterea duratei de viață și fezabilitatea produsului final.



O **structură multifuncțională** cuprinde materiale distincte, având funcțiuni diferite și fiind îmbinate, placate sau laminate, după suprapunere. Un **compozit multifuncțional** este format din mai multe materiale, incluse în materialul de bază, astfel încât combinația lor să îndeplinească funcțiuni multiple. Un **material multifuncțional** poate fi uni-fazic (combinând mai multe funcțiuni, la nivel molecular), sau poate conține mai multe faze, puternic integrate, încât nu mai pot fi deosebite între ele în structură.

Diverse materiale multi-funcționale sub formă de particule nano-metrice (CNT, grafen, anorganice, silice, ZnO și chiar nano-fibre de celuloză) sunt deja larg folosite ca elemente de armare în compozite polimerice; nano-ranforsații sunt prin excelență multi-funcționali, întrucât au factori de formă de valori mari, comportare electro-optică, conductivitate înaltă electrică/termică, întârziere la aprindere, reactivitate chimică semnificativă și rigiditate mecanică înaltă.

Încorporarea de materiale multi-funcționale în compozitele polimerice exemplifică dezvoltarea de nano-compozite multi-funcționale, polimerice și hibride (care combină fibre de armare naturale și sintetice) *înalt avansate*, îndeplinind funcțiuni structurale sau non-structurale; acestea câștigă tot mai mult interes în industrie și în cercetare, ca alternative promițătoare pentru componentele metalice, cu referire la performanțe, cost, greutate și volum (ale componentelor fabricate). Au tot mai largi și avansate aplicații în ultra-filtrare, baterii, plăci pentru circuite electronice integrate, super-condensatoare, baterii și separatoare

structurale, electrozi, celule fotovoltaice, componente de opto-electronică, componente de arhitectură, dar și în construcții aerospațiale, inginerie bio-medicală, industria de apărare – pentru că au proprietăți mecanice, antimicrobiene și fizice superioare, plus constante dielectrice înalte.

Posibile perspective pentru viitor sunt dezvoltarea de nano-materiale multi-funcționale din surse bio-degradabile și regenerabile, plus încorporarea lor în bio-polimeri armați cu fibre naturale; se poate pe această cale la obținerea unor varietăți de compozite și nano-compozite hibride multi-funcționale **verzi**, care ar fi avute în vedere pentru aplicații bio-medicale, dar și din alte domenii.

După cum a rezultat și din cele de mai sus, în tehnica actuală se acordă o atenție tot mai insistentă materialelor **conductive** pe bază de *polimeri*, care se folosesc în aplicații diverse și interesante, precum fabricarea de senzori și bio-senzori, tranzistori avansați, foto-diode, dispozitive de limitare optică, absorbție electro-magnetică, protecție anti-corozivă a metalelor, stocare de energie etc.

Cu privire la **polimerii conductivi** (Conductive Polymers - CPs, primesc și denumirea de *metale sintetice*) – despre care s-a stabilit că au început să fie produși în anul 1963 – este important de adăugat faptul că, în calitate de matrice și în combinație cu fibre *naturale* de armare cunosc aplicații tehnologice tot mai extinse, precum producerea de catalizori chimici/electrochimici, senzori pentru detecție chimică, antene, materiale izolatoare, dar și componente de conectori, celule combustibile, comutatoare, plăci pentru circuite integrate, încălzitoare cu auto-reglare s.a.m.d.

Polimerii din această categorie pot fi deci încadrați între materialele cu bune perspective de utilizare, care sunt implicate și în domenii precum fabricarea de ambalaje anti-bacteriale, diverse accesorii de unică folosință, obținerea de țesuturi sintetice, transportatori de substanțe chimice în interiorul organismelor, bio-actuatori, bio-senzori, mobilier, componente de construcții sau din industria auto.