

NANOMATERIALE CU APLICAȚII ÎN INDUSTRIA AEROSPAȚIALĂ

ASOLTANEI¹ Daniel-Cristian¹, IONESCU² Ștefan-Alexandru² și MARTINESCU³ Iulia-Theodora³

^{1,2,3} Facultatea de Inginerie Aerospațială, Specializarea: română, Anul de studii: I
e-mail: danielasoltanei05@gmail.com

Conducător științific: Conf. dr. ing. Vasile MOGA

REZUMAT: Industria aerospațială conduce numeroase cercetări în domeniul nanomaterialelor, de la nanofibre de carbon și grafen, până la nanofibre de polimeri și nanocompozite pentru a găsi posibile aplicații ale acestora. Aplicațiile respective pot varia extrem de mult, de la componentele camerei de ardere ale sistemului de propulsie până la aditivi din cauciucul trenurilor de aterizare. Pentru ca aceste aplicații să ia naștere, va fi nevoie în continuare de cercetare, acestea nefiind încă larg exploatabile.

CUVINTE CHEIE: Nanomateriale, nanotuburi de carbon, compozite.

1. Introducere

Această lucrare prezintă multiplele tipuri de nanomateriale utilizate în industria aerospațială, accentul fiind pus pe nanotuburile de carbon și nanomaterialele compozite, inclusiv utilizările acestora în domeniu.

2. Generalități

Avansul tehnologic din ultimele decenii a dus la descoperirea a noi materiale, cu proprietăți superioare celor utilizate în mod uzual, iar nanomaterialele nu fac excepție. Prin nanomateriale se înțeleg materialele ce sunt create în urma proceselor ce țin de nanotehnologie, adică manipularea structurilor acestora la un nivel de 1-100 de nanometri. Exemple de materiale ce intră în această categorie sunt: metale și aliaje ale acestora cu structură sub formă de nanocristale sau nanogrăunți, nanoparticule de carbon, fulerine (nanotuburi de carbon, nanofibre de carbon, grafen), nanofibre de polimeri (polistiren, polietilenă etc.), nanofibre de ceramice și nanocompozite. Aceste materiale pot fi promițătoare în domeniul ingineriei aerospațiale, unde este necesar ca materialele să fie cât mai ușoare și, totuși, cât mai rezistente. Aceste materiale își datorează proprietățile datorită structurilor manipulate la nivel nanometric, cum ar fi rezistența la tracțiune, modulul de elasticitate, conductivitatea electrică, conductivitatea termică, rezistența la coroziune sau densitate redusă, mult superioare materialelor utilizate în prezent, chiar superioare față și de actualele compozite, din punct de vedere teoretic, ce sunt la rândul lor dificil de fabricat.

3. Stadiul actual

În prezent o bună parte din nanomateriale sunt dificil de creat în masă, dacă ar fi să le comparăm cu materialele ce sunt utilizate de multe decenii, cum ar fi aliajele de aluminiu, titan sau compozitele convenționale, procesele de producție pentru aceste materiale fiind încă inefficiente, iar produsele create în urma lor, cum ar fi în cazul nanotuburilor de carbon, nu ating proprietățile mecanice obținute în laborator. Pentru unele materiale nu au fost găsite procese de producție în masă, fiind încă inaccesibile pentru industrie, în timp ce unele materiale ca nanotuburile de carbon, chiar dacă fabricarea acestora încă mai trebuie îmbunătățită, ating prețuri asemănătoare cu cea a fibrelor de carbon, fiind utilizate în echipamente sportive, automobile de lux și în industria aerospațială, ca înlocuitor al fibrelor de carbon, în piesele ce țin de structură, sau ca înlocuitor al siliciului și cuprului în echipamentele electrice folosite în industria aerospațială, acestea fiind totuși neutilizate în alte domenii, din cauza costurilor ridicate.

4. Exemple de nanomateriale

Aliajele Al-Mg și Ti-Al ce au structuri de tip nanogrăunți prezintă superplasticitate la temperaturi ridicate, adică se pot deforma plastic mult mai mult fără a se rupe decât un aliaj cu aceeași compoziție chimică, dar cu structură obișnuită, astfel din acestea se pot prelucra mult mai ușor piese cu forme complexe, iar totodată aliajele de Ti-Al cu nanogrăunți pot avea o rezistență la tracțiune de până la 1500 MPa, duritate foarte crescută (6 GPa), rezistență mare la coroziune, ductilitate bună, iar toate aceste proprietăți rămân până la temperaturi ridicate. Acestea și-ar putea găsi utilitatea în componentele structurale ale avioanelor și în motoarele acestora (în special aliajele Ti-Al), fiind totodată materiale cu proprietăți mecanice ridicate raportate la densitatea acestora. Probleme ce pot apărea în aplicarea acestora pot fi: instabilitate termică a aliajelor Al-Mg ce ar limita utilizarea acestora la temperaturi de peste 200 °C, iar aliajele de Mg, în general, au rezistență scăzută la coroziune, în timp ce la aliajele Ti-Al pot fi prelucrate prin superplasticitate doar la temperaturi foarte ridicate, iar formarea aliajului trebuie controlată cu atenție pentru a nu compromite structura viitoarelor piese, ceea ce ar face foarte greu de implementat un proces tehnologic la scară industrială pentru asemenea materiale.^[1]

Nanotuburile de carbon sunt un material foarte cunoscut, acest motiv fiind dat de către faptul că sunt cele mai rezistente dintre toate materialele din punct de vedere al rezistenței la tracțiune și al modulului de elasticitate. Acestea sunt de mai multe feluri (vezi figura 1): după numărul de straturi de grafit: nanotuburi cu un singur strat, nanotuburi cu mai multe straturi; după poziționarea geometrică: în formă de „scaun” și în „zig-zag”. Aceste caracteristici le modifică proprietățile, de exemplu nanotuburile în formă de „scaun” au proprietăți de conductor, în timp ce nanotuburile în formă „zig-zag” au proprietăți de semiconductor.

Nanotuburile de carbon cu un singur strat sunt cele mai rezistente materiale conform experimentelor, atingând valori ale modulului de elasticitate de 1TPa și rezistență la tracțiune de 53 GPa și alungire relativă la limita de rupere de 16 % (poate fi comparat cu oțelul inoxidabil și Kevlar în tabelul 1). Totodată au reziliență crescută, stabilitate termică până la 750 °C în aer și 2800 °C în vid, iar densitatea acestora este de 1,3-1,4 g/cm³. O problemă este reprezentată de faptul că în toate testele experimentale materialul la nivel microscopic nu mai prezintă aceleași proprietăți mecanice (au în jur de doar câțiva GPa), deoarece nanotuburile se leagă foarte greu între ele, astfel trebuie iradiate cu electroni pentru a crește rezistența la tracțiune în jurul valorii de 60 GPa. Totodată este foarte dificilă producția a unui anumit tip de nanotub sau separarea acestuia de restul (ex: un strat sau multistrat). Acestea pot fi utilizate ca înlocuitori ai actualelor materiale din echipamentele electrice (fire, baterii, tranzistori etc.) și în compozite, reducând greutatea obiectelor în care ar fi utilizate.^[1]

Tabelul 1. Proprietăți mecanice ale nanotuburilor de carbon față de alte materiale

Tip material	Modulul Young [TPa]	Rezistența la tracțiune [GPa]	Alungirea relativă la rupere [%]
Nanotuburi de carbon cu un singur strat	1	13-53	16
Oțel inoxidabil	0,186-0,214	0,38-1,55	15-50
Kevlar	0,06-0,18	3,6-3,8	2

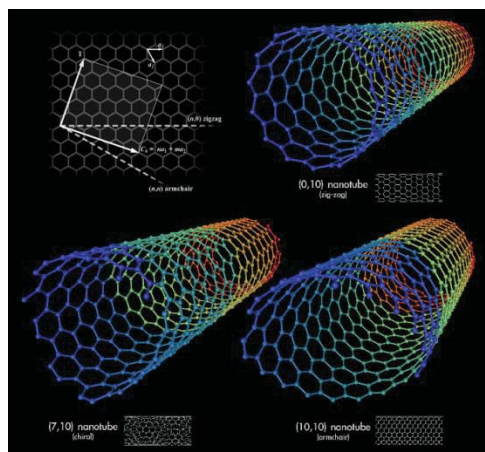


Fig. 1. Tipuri de nanotuburi de carbon

Nanocompozitele sunt de mai foarte multe feluri, unele dintre acestea fiind compozitele ceramică-nanotuburi de carbonși epoxy-nanotuburi de carbon. Dacă materialele ceramice, singure, au o bună rigiditate, rezistență, refractaritate și stabilitate chimică bună, dar sunt prea fragile, folosite ca matrice în compozite fragilitatea este ameliorată, iar astfel proprietățile ceramicelor pot fi exploatate cu cât mai mult posibil. Deja sunt testate compozite ceramică-fibre de carbon, rezultatele arătând faptul că acest material poate rezista la temperaturi de 1600 °C, astfel înlocuirea fibrelor de carbon cu nanotuburi ar reduce densitatea materialelor folosite, totodată nanotuburile având proprietăți mecanice superioare fibrelor de carbon.^[3,1]

Compozitele epoxy-nanotuburi de carbon deja sunt considerate ca un înlocuitor al materialului epoxy-fibre de carbon, ce este deja larg folosit în componența avioanelor și a navetelor spațiale din prezent, având rezistență la coroziune și proprietăți mecanice superioare față de aliajele de aluminiu și titan, raportat la densitatea acestora. Materialele din epoxy-nanotuburi de carbon sunt considerate mult mai rezistente mecanic decât cele din epoxy-fibre de carbon, fiind totodată mai ușoare decât ultimele (proprietățile materialelor folosite acum pot fi observate în tabelul 2). Aceste nanocompozite ar putea fi folosite în izolarea termică a camerelor de ardere a motoarelor și a modulelor de intrare în atmosferă, în cazul ceramicelor armate cu nanotuburi de carbon, sau în fuzelajul și componentele structurale ale avioanelor, navetelor spațiale și sateliților, în cazul compozitului epoxy-nanotuburi de carbon.^[3,1]

Tabelul 2. Proprietăți mecanice ale mai multor materiale utilizate în aviație

Tip material	Modulul lui Young [GPa]	Rezistența la tracțiune [MPa]	Densitate [g/cm ³]
Oțel AISI 5130 ^[7]	205	1275	7,85
Aluminiu 7075-T6 ^[7]	71,7	570	2,81
Titan Ti 10-2-3 ^[8]	106	1240	4,65
Epoxy-fibre de carbon ^[7]	120	3000	1,63

5. Aplicații ale nanotuburilor de carbon

Nanotuburile de carbon (vezi figura 2) au apărut în urma dezvoltării tehnologiei nanomaterialelor. Nanotuburile sau NTC sunt alotropi ai carbonului cu nanostructură cilindrică și sunt construite cu raport între lungime și diametru de până la 132.000.000:1. Acest raport fiind semnificativ cel mai mare în raport cu celălalte materiale.

Aceste nanotuburi sunt valoroase din cauza proprietăților foarte utile în domeniul nanotehnologiei, electronicii și opticii. Nanotuburile au proprietăți fizice deosebite, în particular datorită conductivității termice și proprietăților mecanice și electrice deosebite, acestea având diverse aplicații în multe domenii,

de la construirea unor piese de uz casnic, la echipamente pentru sport cu performanțe ridicate (biciclete, bâte de baseball) până la aparatură electrică și structuri foarte solide esențiale în domeniul aerospațial, chiar și pentru automobile.

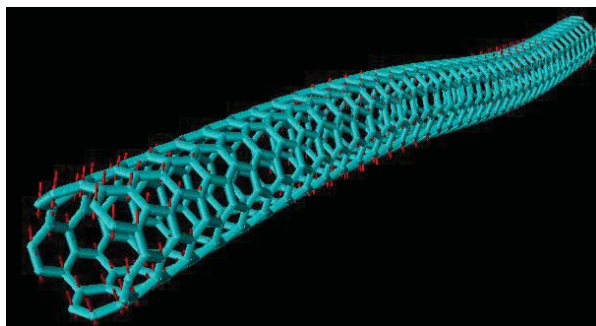


Fig. 2. Nanotub de carbon

Aplicațiile acestor nanotuburi sunt foarte diversificate. Un grup de cercetători de la Universitatea din California, SUA, a reușit construcției celui mai mic radio din lume cu un singur tub. Aceștia au făcut un pas important în miniaturizarea echipamentelor voluminoase și grele. Aceștia nu au creat toate componentele dintr-un astfel de tub, ci le-au simulat într-un nanotub de carbon. Acesta este conectat la un electrod, capătul lui vibrând sub acțiunea undelor radio. Acest aparat poate fi folosit pentru urmărirea unui om, dar și a organismului acestuia de la distanță, aparatul radio putând fi injectat direct în sânge.

Televizoare sau display-uri FED cu nanotuburi de carbon: Cercetătorii americani au creat o tehnologie de producere în masă a nanodevice-urilor care poate duce la înlocuirea televizoarelor LCD cu rețele de tip FED (Field Emission Display). Aceste televizoare sunt la fel de performante ca și cele clasice doar că au un avantaj substanțial, noile televizoare o să aibă doar câțiva milimetri grosime, dar și consumul de energie este foarte redus, ieftin de produs și ajung la o rezoluție mai mare decât acestea. Nanotuburile fac în acest caz un lucru simplu și nu revoluționează foarte mult vechea tehnologie, acestea înlocuiesc tuburile catodice folosind o rețea de nanotuburi de carbon, acestea reprezentând cel mai eficient emițător de electroni cunoscut deocamdată.^[6]

Circuite electronice cu nanotuburi de carbon: Odată cu trecerea timpului cercetătorii au căutat soluții pentru înlocuirea circuitelor semiconductoare ce au la bază siliciu. În 2008, o echipă de cercetători din cadrul Universității Americane au realizat un circuit ce are la bază nanotuburi de carbon. Prin printarea unei rețele de nanotuburi pe o suprafață de plastic flexibilă, aceasta conținea nu mai puțin de 100 de tranzistori. Performanțele fiind foarte bune, nanotuburile având un potențial mai mare decât materialele clasice, ca polimerii și siliciu. Poate cel mai bun avantaj este flexibilitatea și tensiunea de lucru de 5 volți.^[6]

Microcipuri din nanotuburi de carbon: Microcipurile din nanotuburi de carbon reprezintă viitorul, acestea fiind mai mici, mai rapide decât cele din siliciu și au o formă perfectă pentru a se comporta precum tranzistorii. Lucrul cel mai important fiind mărimea, microcipurile din nanotuburi sunt mult mai mici decât cele din siliciu. Utilitatea acestora pentru construirea microcipurilor a fost evidențiată în anul 2012, când IBM a găsit o metodă să crească numărul nanotuburilor de carbon care să fie plasat pe un singur cip. Cipul are mai mult de 10000 de nanotuburi, tehnologie ce permite mișcarea mai ușoară prin tranzistorii de carbon decât cei din siliciu, fapt ce permite transportul mai rapid al datelor. Această reușită reprezintă viitorul producerii circuitelor din nanotuburi, deoarece până acum nimeni nu reușise să pună mai mult de câteva sute de nanotuburi dintr-o singură mișcare.^[6]

Primul computer din nanotuburi de carbon: Asemenea formelor de viață, computerele viitorului vor fi bazate pe carbon, nu pe siliciu. Cercetătorii de la Universitatea Stanford au construit primul calculator cu ajutorul nanotuburilor, acesta nu poate atinge momentan viteze remarcabile, performanțele sale fiind asemănătoare cu un PC din anii '50. Acesta a fost construit cu un cip universal de mici dimensiuni și limitat de 178 de tranzistori, bine înțeles că aceste performanțe pot fi mult mai mari.^[6]

Bateria viitorului din hârtie și nanotuburi de carbon: Tot la Universitatea Stanford, cercetătorii au creat prima baterie dintr-o foaie de xerox. Aceasta a fost îmbibată în cerneală neagră în care

se găsesc nanotuburi de carbon și nanoconductori de argint, apoi urmând să fie uscată într-un cuptor până când toată apa a fost evaporată. Foaia capătă conductivitate și poate fi încărcată cu energie. Aceasta poate suporta 40000 de cicluri încărcare/descărcare, depășind performanțele unei baterii Li-ion.

Avantajele acestor baterii sunt foarte multe, din cauza materialului din care este făcut, ce este foarte ușor de modelat în multe forme și dimensiuni; dacă este mototolită, foaia nu-și pierde caracteristicile. Oportunitățile pe care ni le-ar putea oferi această tehnologie sunt foarte multe, acum suntem înconjurați de dispozitive care folosesc baterii, acestea fiind de cele mai multe ori foarte grele și ocupă un spațiu foarte mare.^[6]

Celule solare din nanotuburi de carbon: Această aplicație este promițătoare pentru rezolvarea unei probleme mondiale, producereacurentului electric cu ajutorul energiei solare, dar și stocarea sa. Nanotuburile de carbon modificate pot păstra căldura primită de la Soare pe un termen nedeterminat de timp. Păstrarea căldurii Soarelui într-o formă chimică este mult mai eficientă decât transformarea sa în energie electrică. Avantajul acestei tehnologii stă în faptul că energia chimică este mult mai stabilă, sigură și mai ușor de depozitat.

Carcase indestructibile cu nanofibre de carbon spiralate: În 2008, un grup de cercetători americani au reușit fabricarea unui material care ar putea sta la baza carcaselor, dispozitivelor sau a avioanelor. Noutatea propriu-zisă nu este materialul în sine, ci este forma sa de spirală a acestora. Aceste arcuri nanometrice sunt capabile să absoarbă șocuri mari. Aceste nanoarcuri au fost testate prin lansarea unei mingi de oțel, acestea rezistând în comparație cu nanotuburile normale.^[6]

Toate aceste aplicații de mai sus reprezintă viitorul nostru, în special în domeniul ingineriei aerospațiale, acest domeniu care a avut startul cu aproape 100 de ani în urmă, un timp relativ scurt dacă este să ne gândim la alte ramuri ale ingineriei cu o vechime considerabil mai mare. Nanotuburile de carbon reprezintă un pas în față, aceste structuri ne ajută să construim materiale pentru fuzelaj, piese de rezistență sau diferite componente ale unui avion. Datorită caracteristicilor electrice foarte bune și proprietăților NTC-urilor de a menține căldura solară în energie chimică și la nevoie să o transforme în energie electrică, următoarea generație de avioane ar putea efectua zboruri fără consum de carburant clasic, acestea vor putea utiliza energie electrică pentru a se propulsa și ar avea panouri solare care pot păstra energia un timp îndelungat.

Tehnologia de folosire a nanomaterialelor a început să fie dezvoltată și implementată la avioanele de vânătoare, acestea fiind cele care trebuie să păstreze un raport greutate/putere cât mai mic. Diferiți polimeri ce au la bază nanotuburi au fost folosiți pentru construcția avionului de vânătoare F-35, acesta fiind cu 20-30% mai ușor. Momentan, de această îmbunătățire au avut nevoie piesele nesolicitate mecanic.^[7]

6. Alte aplicații ale nanomaterialelor

Straturi subțiri de nanostructuri pentru senzori infraroșii. Detectorii infraroșii fabricați din materiale piroelectrice (ce generează un curent electric temporar ca răspuns la o schimbare de temperatură) au început să primească tot mai multă atenție ca rezultat al stabilității, sensibilității, răspunsului spectral larg și a unei cantități mici de curent de întineric de care dau dovadă. Într-un detector piroelectric, un strat feroelectric absorbant este folosit la captarea energiei radiante, care încălzește materialul piroelectric, cauzând o polarizare electrică spontană și reversibilă și o variație măsurabilă la încărcătura electrică de la suprafața materialului. Atunci când este integrată într-un circuit electronic corespunzător, curentul de ieșire poate fi corelat cu rata schimbării temperaturii. Acești detectori capacitivi au beneficiat în particular de includerea unui strat dielectric sensibil termic confecționat din oxizi multimetaliți și peroskoviți (o clasă de minerale cristaline caracterizată prin coeficienți piroelectrice înalți și tangente joasă de pierdere dielectrică).^[8]

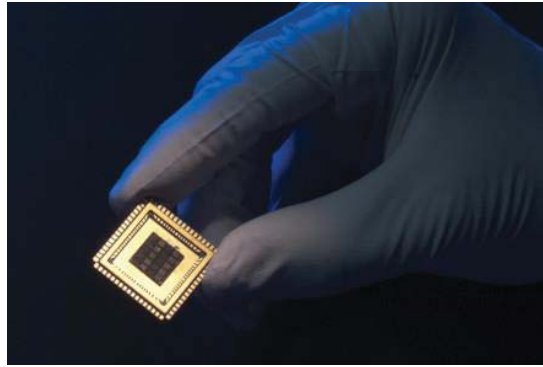


Fig. 3. Film subțire de peroskovit^[9]

Nanotuburi de carbon. Aceste materiale remarcabile posedă proprietățile chimice ale carbonului, conductivitatea termică a diamantului și conductivitatea electrică a cuprului sau siliconului. Cu toate acestea, încă există provocări semnificative în transpunerea acestor proprietăți în macrostructurile necesare viitoarelor vehicule aerospațiale. De exemplu, nanotuburile de carbon au un raport de duritate-masă de aproximativ 50 de ori mai mare decât acela al compozitelor tipice ranforsate cu fibră de carbon, și de circa 600 de ori mai mare decât al aliajelor de aluminiu. Deoarece unele componente ale navelor spațiale și dispozitivelor de lansare ar putea fi construite, în principiu, din nanotuburi, greutatea unei nave spațiale ar scădea cu un ordin de magnitudine sau mai mult, fără nicio modificare în dimensiune sau funcțiune. Mai mult, structuri mai puternice și mai ușoare a căror fabricare durează la fel de mult ca a celor din prezent vor fi probabil la fel de scumpe. Așadar, tehnici de producție automatizate care pot produce rapid materiale mai puternice și cu un cost redus trebuie să fie perfecționate înainte ca întregul potențial al nanotuburilor de carbon să poată fi atins.

O tehnică promițătoare este reprezentată de printarea cu jet de cerneală; este rapidă și eficientă, și este una dintre cele mai bune tehnici de tipărire directă. Această tehnică este avantajoasă pentru depozitarea nanomaterialelor cum sunt nanotuburile de carbon direct pe substraturi deoarece nu necesită măști sau tipare.^[8]

Polimeri ranforșați cu nanotuburi.(vezi figura 4) Calități precum conductivitate electrică, raport de aspect mare, modul elastic mare și duritate mare fac nanotuburile de carbon un candidat natural pentru a fi folosite ca materiale de adaos în polimeri compoziți pentru structurile navelor spațiale. Industria aerospațială caută metode de exploatare a acestor caracteristici în amestecurile de polimeri. De exemplu, straturile de polimeri în păturile termale folosite la majoritatea sateliților sunt de obicei acoperite cu un strat conducător de oxid de indium cu staniu (ITO) pentru a preveni apariția încărcăturii electrostatice ce ar putea conduce la descărcări periculoase; cu toate acestea, aceste straturi de protecție se pot oxida sau craca, ceea ce le reduce conductivitatea. Industria aerospațială a creat un amestec de polimeri transparent cu suficientă conductivitate și stabilitate încât să diminueze încărcătura electrică de la suprafața sateliților. Materialul, un amestec de polimer cu nanotuburi de carbon, ar putea elimina sute de cordoane folosite pentru a fixa pătura protectoare de suprafața conductivă a navei spațiale.^[8]

Senzori chimici nanostructurați.(vezi figura 5) Prezența cantităților mari de substanțe chimice toxice sau explozive este o realitate neplăcută a lansării de sateliți. Riscul populațiilor de civili de a se expune la dăre toxice poate limita accesul către spațiu. Dacă acuratețea modelelor dispersiei dărelor poate fi îmbunătățită cu date în timp real asupra concentrațiilor de dăre toxice din jurul zonelor de lansare, datele rezultate ar putea îmbunătăți oportunitățile de lansare. Mai mult, senzori chimici îmbunătățiți pentru carburanți riscanți sunt necesari pentru a asigura siguranța personalului care lucrează în jurul vehiculelor de lansare.

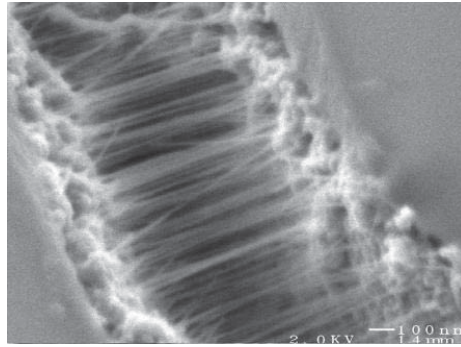


Fig. 4. Nanotuburi de carbon în matrice de polimer^[10]

Dezvoltarea senzorilor chimici mici, cu putere redusă, dar foarte sensibili ar putea permite instrumentarea navelor spațiale, vehiculelor de lansare pentru a monitoriza expunerea la gaze periculoase. Asemenea dispozitive ar putea permite conducătorilor misiunilor să evalueze rapid proporțiile și consecințele unei scurgeri scăzute și reduce resursele folosite pe investigații eșuate.

Utilizarea straturilor de nanostructuri de senzori, cum sunt nanofibrele de polianilină, pot îmbunătăți foarte mult difuzia, deoarece materialele nanostructurale au o suprafață expusă mult mai mare și permit o penetrare mai mare a moleculelor de gaze. Chiar și atunci când grosimea învelișului foarte subțire este similară cu diametrul nanofibrelor, este de așteptat ca fibrele să depășească în performanță stratul subțire deoarece forma lor are un raport mai mare de suprafață-volum. Diametrul mic al nanofibrelor (sub 100 nm) combinat cu posibilitatea gazului de a veni din toate direcțiile ar trebui să rezulte în senzori cu o performanță îmbunătățită.

Nanofibrele de polianilină se pot sintetiza în apă, proces foarte bun din punct de vedere al mediului înconjurător. Astfel apar noi posibilități de producere a nanocompozitelor cu alte materiale. Acest lucru a permis industriei aerospațiale să producă senzori pentru sulfat de hidrogen ce au apărut din compozite ce conțin săruri metalice precum cuprul. Senzori similari au fost creați pentru hidrazină, arsină și fosgen. Cercetătorii din industria aerospațială au descoperit de asemenea un mecanism care permite nanofibrelor de polianilină să fie utilizate ca senzori de hidrogen.^[8]

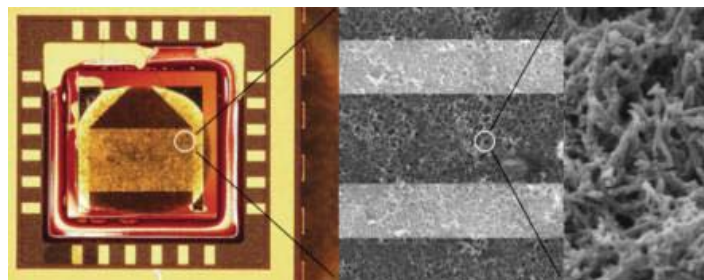


Fig.5. Senzor chimic de nanofibra de polianilina^[11]

Grafenul. Industria aerospațială a început să investigheze grafenul ca material pentru aplicații avansate. Grafenul este o foaie bi-dimensională de grafit cu o grosime de un strat atomic. Până de curând, grafenul era doar un material teoretic folosit ca model pentru alte materiale precum nanotuburile de carbon, care sunt specii de carbon tridimensionale derivate din acesta. Multe laboratoare au reușit izolarea fulgilor de grafen, iar măsurătorile arată că materialul posedă proprietăți electrice fenomenale. Calitatea grafenului se remarcă printr-un efect de câmp electric pronunțat ce duce la utilizări în dispozitive electronice moleculare precum tranzistori balistici la temperatura camerei și celule fotovoltaice. Conductivitatea foarte mare duce la aplicații pentru senzori chimici.^[8]

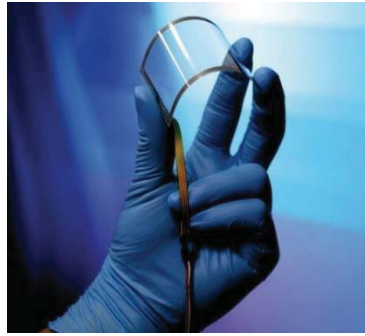


Fig. 6. Strat de grafen

7. Concluzie

Așa cum se poate remarca, toate aceste noi metode de utilizare a nanomaterialelor în industria aerospațială necesită tehnologii noi și multiple teste și verificări, astfel că va mai trece ceva vreme până când toate aceste metode inovative vor putea fi aplicate în practică. Cercetările continue vor ajuta la identificarea și îmbunătățirea noilor tehnici până ce acestea vor putea fi utilizate la scară largă.

8. Bibliografie

- [1]- Dr.Jonathan Loeffler, Dr. Ulrich Sutter, Eric Jourdain și Sidney Kristiansen, Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Aeronautics Sector” (2005)
http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_opportunidades/roadmap_report_nano_aeronautics.pdf
- [2]- https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanical_properties_of_carbon_nanotubes
- [3]- Vivek T. Rathod, Jazanth S. Kumar și Anjana Jain, „Polymer and ceramic nanocomposites for aerospace applications” (2017) <https://link.springer.com/article/10.1007/s13204-017-0592-9#Sec24>
- [4]- <https://www.quora.com/How-much-lighter-is-carbon-fiber-than-steel-and-aluminum-How-much-stronger-is-it>
- [5]- <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=ca1ec25e6ec3465bae22df7f35479041&ckck>
- [6]- https://www.concursurilecomper.ro/rip/2015/ianuarie2015/18-PuneiDanaAnisoara-Aplicatii_ale_nanotuburilor_de_carbon.pdf
- [7]- „Lockheed Martin reveals F-35 to feature nanocomposite structure” (2011)
<https://www.flightglobal.com/news/articles/lockheed-martin-reveals-f-35-to-feature-nanocomposite-structures-357223/>
- [8]- Frank Livingstone, Alan Hopkins și Bruce Weiller (2011), “The next big thing: nanomaterials development for space technology applications”
<http://www.aerospace.org/crosslinkmag/spring-2011/the-next-big-thing2-nanomaterials-development-for-space-technology-applications/>
- [9]- <http://www.aerospace.org/crosslinkmag/spring-2011/the-next-big-thing2-nanomaterials-development-for-space-technology-applications/>
- [10]- <http://www.aerospace.org/crosslinkmag/spring-2011/the-next-big-thing2-nanomaterials-development-for-space-technology-applications/>
- [11]- <http://www.aerospace.org/crosslinkmag/spring-2011/the-next-big-thing2-nanomaterials-development-for-space-technology-applications/>
- [12]- <https://www.nature.com/news/graphene-the-quest-for-supercarbon-1.14193>