Primjene grafena u inženjerstvu materijala

Miličević, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:381826

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Nikolina Miličević

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujna 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Nikolina Miličević

PRIMJENE GRAFENA U INŽENJERSTVU MATERIJALA

ZAVRŠNI RAD

Mentor rada: izv. prof. dr. sc. Jelena Macan

Članovi ispitnog povjerenstva:
izv. prof. dr. sc. Jelena Macan
doc. dr. sc. Marijana Kraljić Roković
dr. sc. Vilko Mandić, znan. sur.

Zagreb, rujna 2015.

Ovaj rad je izrađen na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za fizikalnu kemiju, akademske godine 2014./2015.

Zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Jeleni Macan na predloženoj temi, stručnom vodstvu, korisnim savjetima i potpori, kao i na strpljivosti i susretljivosti tijekom izrade ovog rada. Hvala na motivaciji i prenesenom znanju tijekom čitavog preddiplomskog studija.

Također se zahvaljujem svim osobama koje su mi bile uzor, potpora, utjeha i radost: mojoj obitelji, kolegama i svim dragim prijateljima.

SADRŽAJ

SAŽETAK 1
1. UVOD 3
2. OPĆI DIO 5
2.1. Povijest nastanka grafena 5
2.2. Svojstva grafena 7
3. PRIMJENA GRAFENA U INŽENJERSTVU MATERIJALA PREMA NJEGOVIM SVOJSTVIMA 9
3.1. Električna svojstva grafena 9
3.1.1. Li-ionske baterije 9
3.1.2. Grafen kao aktivni materijal u superkondenzatorima 10
3.1.3. Grafen kao komponenta za solarne ćelije 11
3.2. Grafen kao ojačavalo u kompozitima 12
3.3. Grafen kao zaštitna prevlaka protiv korozije 12
3.4. Grafen kao filtar u procesu desalinizacije 13
3.5. Primjena grafena u biomedicini 14
4. RASPRAVA 15
5. ZAKLJUČAK 16
6. LITERATURA 17
7. ŽIVOTOPIS 19

SAŽETAK

Ovaj završni rad daje sažet pregled općih svojstava te postupaka nastanka grafena kao i njegove primjene u inženjerstvu materijala. Cilj je primjene grafena poboljšanje svojstava različitih materijala. Grafen je jednoatomski monosloj grafita koji je alotropska modifikacija ugljika, dvodimenzionalna elementarna tvar izuzetno dobrih mehaničkih, toplinskih te električnih svojstava. Postupnim otkrivanjem njegovih fizikalnih svojstava, potencijalne primjene te tržišne perspektive, istraživači diljem svijeta sve se više bave grafenom. U radu će se teorijski prikazati primjena grafena na različite materijale i kako on utječe na poboljšanje materijala, te ukazati na moguće probleme.

Ključne riječi: grafen, elektrodni materijal, kompozitni materijal, membrane

SUMMARY

Applications of graphene in materials engineering

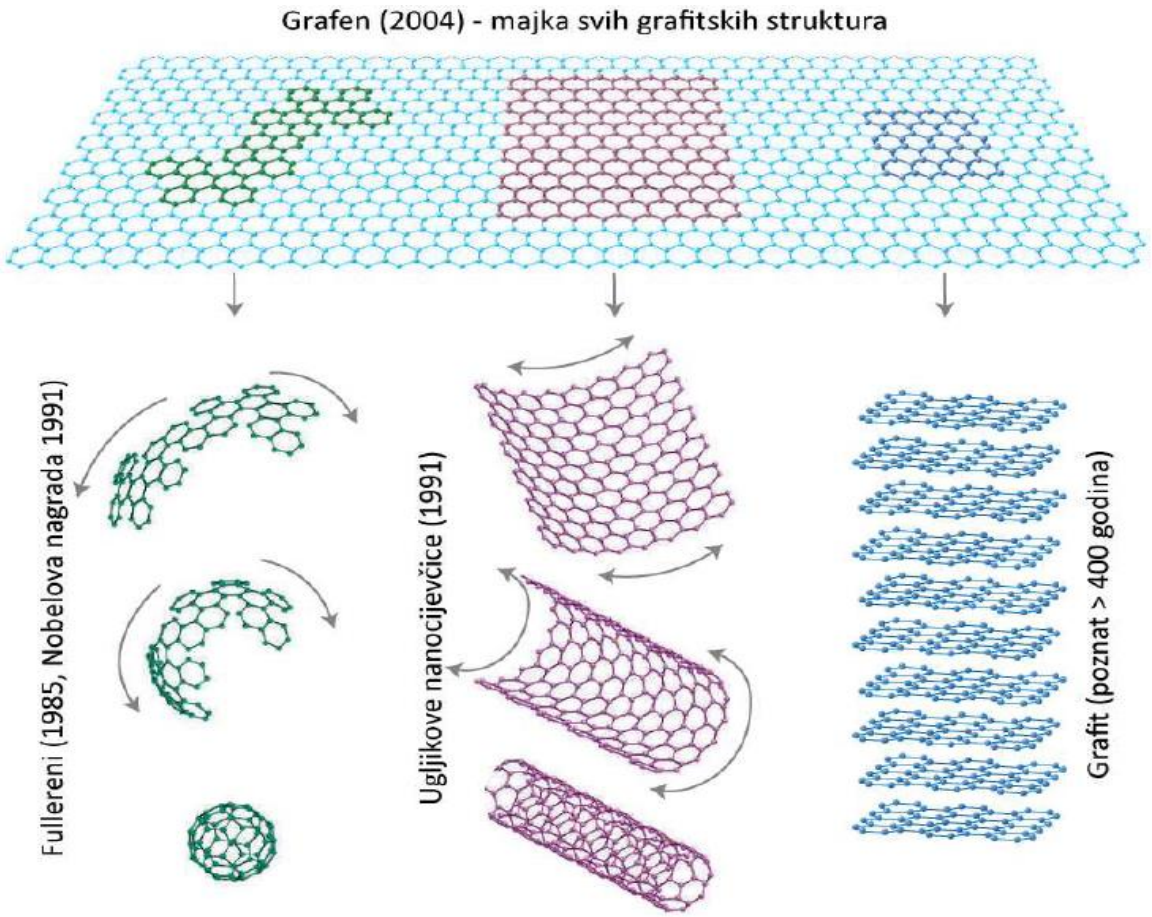
This work gives a concise overview of general properties and processes for preparation of graphene and its application in engineering materials. The goal of application of graphene is to improve the properties of different materials. Graphene is a monoatomic monolayer of graphite, which is an allotrope modification of carbon. It is a two-dimensional elemental substance of extremely good mechanical, thermal and electrical properties. The gradual disclosure of its physical properties, potential applications and market prospects lead researchers around the world to become increasingly concerned with it. Based on this, this work will theoretically show application of graphene in a variety of materials, how it affects the improvement of material and what the problems are .

Key words: graphene, electrode materials, composite materials, membranes

1. UVOD

Ugljikove nanostrukture dobar su primjer kako jedan jedini element – ugljik može, kroz različite alotropske modifikacije, formirati dvodimenzionalne, jednodimenzionalne i bezdimenzionalne (točkaste) nanostrukture: grafen, ugljikove nanocjevčice i fulerene.

Sve do prije tridesetak godina smatralo se da se elementarni ugljik pojavljuje samo u formi čađe, dijamanta i grafita. Otkrićem fulerena, molekule koja se sastoji od 60 ugljikovih atoma, ta se slika znatno promijenila. Danas znamo za još dvije alotropske modifikacije ugljika koje pripadaju kategoriji nanostruktura – ugljične nanocjevčice i grafen. Svima njima svojstveno je da se temelje na sp^2 hibridizaciji ugljikovih orbitala, za razliku od dijamanta koji je izgrađen temeljem sp^3 hibridizacije [1].



Slika 1. Grafen – građevni materijal svih grafitnih, sp^2, struktura. U zagradama su naznačene godine otkrića [2]

Promjena dimenzionalnosti neke strukture može se postići tako da se smanjuje samo jedna dimenzija gdje je rezultat kvazi-dvodimenzionalni materijal, kao što su npr. ultra tanki slojevi na kristalnim površinama. Primjer jednoga takvoga dvodimenzionalnog materijala je grafen, dobro poznati materijal u području nanotehnologije [1].

Grafen je najjednostavniji, jednoatomski grafitni monosloj koji je identificiran kao zasebna struktura s dobrim električnim, toplinskim i mehaničkim svojstvima te je tako prozvan materijalom budućnosti. Dugo je bilo poznato da se grafit sastoji od monoslojeva ugljika koji čine grafitnu strukturu. Međutim, sve dok dobitnici Nobelove nagrade Andre Geim i Konstantin Novoselov sa Sveučilišta u Manchesteru nisu eksfolijacijom izdvojili jedan sloj grafita kojeg su nazvali grafen, njegova fizikalna svojstva nisu bila poznata. Odnos električnih svojstava grafita i grafena dobro oslikava ovisnost elektronske strukture o dimenzionalnosti. Dok je grafit izolator, jedan sloj grafita, grafen, bolji je električni vodič od bakra i srebra [1,3].

Drugi mogući put iskorištavanja svojstava grafena u inženjerstvu materijala jest ugradnja grafenskih slojeva u kompozitne materijale. Proizvodnja takvih materijala zahtijeva da grafenski slojevi budu homogeno distribuirani u različitim matricama te da se grafen proizvodi u velikim količinama, što je jedan od glavnih problema. Grafit je jeftini materijal dostupan u velikim količinama, međutim teško se ljušti u pojedinačne grafenske slojeve. Sinteza grafena jedan je od najvećih problema za veliku industrijsku proizvodnju te je tako sam grafen izuzetno skup materijal [3,4].

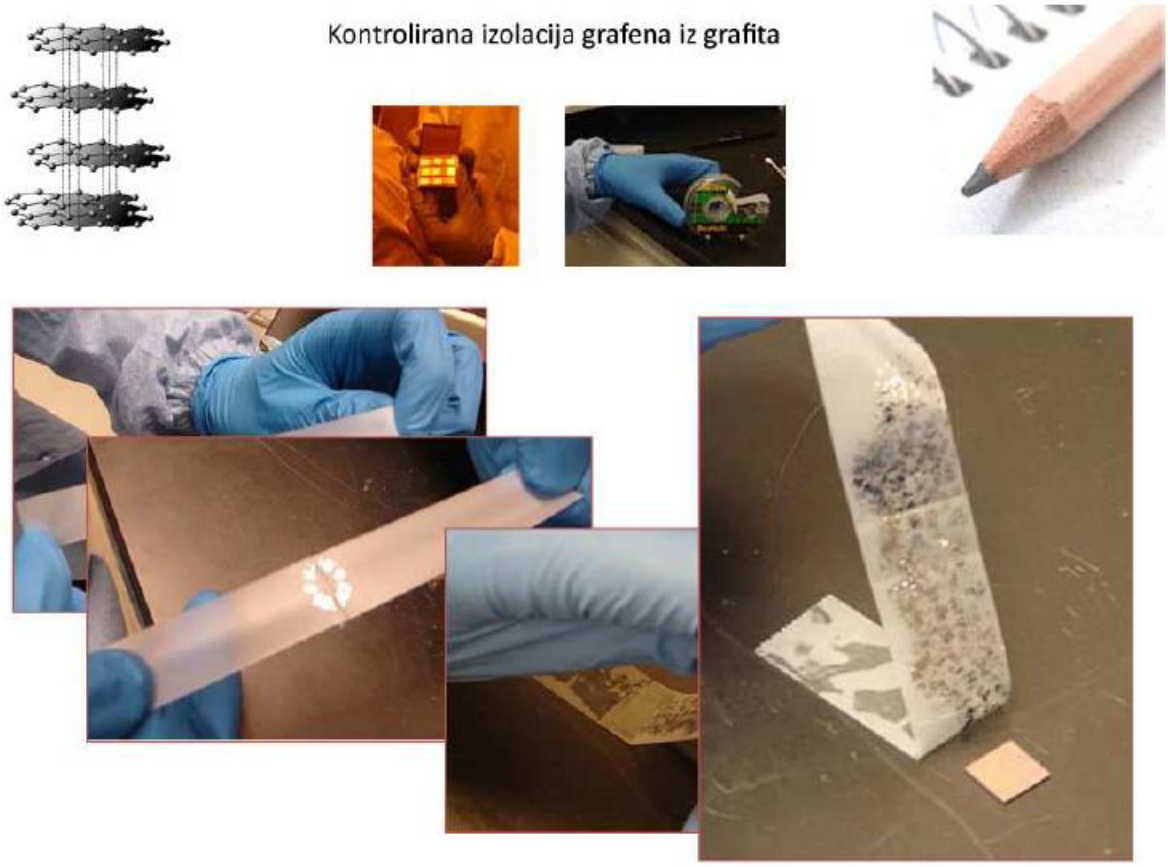
Svrha ovoga rada je dati sažetu teoriju o grafenu, jedinom sloju grafita, kao materijalu budućnosti. Objasnit ću osnovna grafenova svojstva te njegovu primjenu u inženjerstvu materijala.

2. OPĆI DIO

2.1. Povijest nastanka grafena

Grafen je prvi uistinu dvodimenzionalni nanomaterijal ikad, nazvan materijalom budućnosti. Iako je konceptualno poznat od sredine prošloga stoljeća i dostupan u vršku svake obične olovke, prvi puta su ga izolirali 2004. dobitnici Nobelove nagrade, Konstantin Novoselov i Andre K. Geim sa Sveučilišta u Manchesteru, kada su mu izmjerena svojstva, do tada tek naslućivana u teoriji. Grafen je atomski kristal koji se sastoji od ugljikovih atoma raspoređenih u šesterokutnu kristalnu rešetku. Zbog njegovih izuzetnih fizikalnih svojstava, potencijalne aplikacije te tržišne perspektive, istraživači diljem svijeta bili su izuzetno zainteresirani za grafen. Aktivno istraživanje ovoga materijala počelo je prije nekoliko godina. Grafen čini tako zanimljivim to što je promijenio granice onoga što jedan materijal može učiniti. Bio je prvi primjer dvodimenzionalnih atomskih kristala čija se površina s termodinamičkog stajališta znatno razlikuje od one trodimenzionalnih objekata. Otkriveno je da ima rekordno visoku toplinsku vodljivost te najveću gustoću struje pri sobnoj temperaturi ikad izmjerenu. Jači je od čelika, iznimno savitljiv, ima najmanju poroznost (ni atom He ne može proći kroz njega), najbolju vodljivost, a osim toga je i najtanji poznati materijal. S obzirom na ova intrigantna svojstva, istraživanje grafena doživljava veliki procvat u mnogim područjima znanosti. Izuzetno je popularan materijal za kemijske modifikacije, a obećava i veliku primjenjivost za elektroniku i kompozitne materijale. [1,3,5]

Zanimljiva činjenica u vezi grafena jest da je jedan sloj toga materijala prvi puta dobiven ljuštenjem grafita (s vrha obične olovke) pomoću ljepljive trake (selotejpa), odnosno mehaničkom eksfolijacijom grafita. Izvorna 'selotejp metoda' nije zahtijevala velika ulaganja ni kompliciranu opremu, no problem je bio u tome što nije prikladna za sintezu grafena za industrijsku primjenu. [4]



Slika 2. Najjednostavnija metoda izolacije grafena iz grafita. Stanjivanjem pomoću ljepljive trake, te trljanjem o supstrat, moguće je dobiti male, mikrometarske, uzorke grafena.[2]

S obzirom na velike potencijale grafena, znanstvenici diljem svijeta počeli su se sve više baviti problemom njegove sinteze, te danas postoji više metoda kojima se može sintetizirati. U samim početcima istraživanja grafena smatralo se da alternativne metode dobivanja grafena nemaju nikakve perspektive u usporedbi s mikromehaničkim kalanjem. Međutim, danas znamo da to nije tako i grafen se proizvodi kemijski, elektrokemijski ili rastom slojeva grafena na površinama. [6]

Prilikom dobivanja grafena kemijskim ili elektrokemijskim putem prvi korak je oksidacija i raslojavanje grafita pri čemu nastaje grafen oksid (GO). Na ovaj način dobiva se monosloj ugljika s visokim udjelom kisika. Za razliku od grafena, GO zbog prisutnosti defekata unutar svoje strukture ima smanjenu električnu vodljivost, ali se odlikuje dobrom topivošću u vodenom mediju. Stoga nalazi primjenu u senzorima i u pripravi vodljivih polimera. Redukcijom je moguće prevesti GO u grafen. Na skalama od milimetarske do

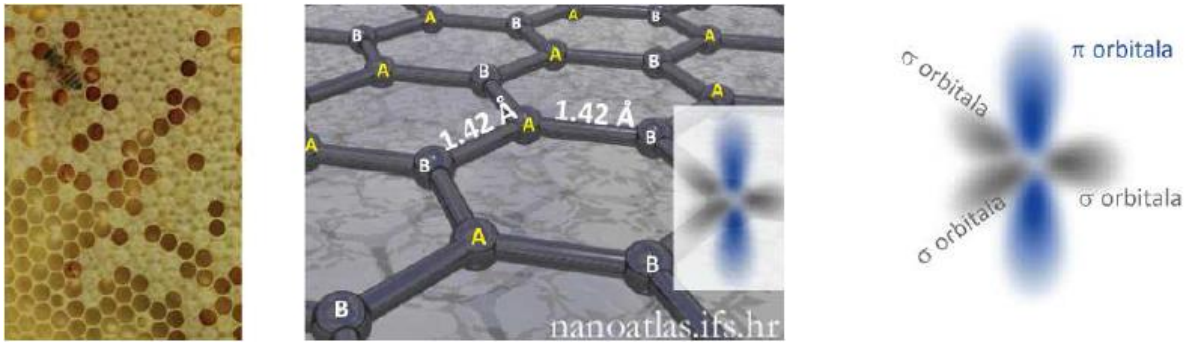
metarske, grafen se može lako dobiti katalitičkom razgradnjom ugljikovodika na metalnim površinama. Primjer takvog načina dobivanja grafena izuzetne kvalitete jest rast grafena na površini metala iridija (epitaksijalni rast). Nedostatak ovog načina dobivanja grafena je njegovo odvajanje od metalne površine da bi se iskoristio, npr. za izgradnju tranzistora ili integriranih krugova. S toga se za takvu primjenu pribjegava drugim kemijskim metodama. [2,7]

Epitaksijalni se grafen može izravno dobiti i na poluvodičkim površinama, na primjer na silicijevom karbidu, SiC, gdje se toplinskom razgradnjom površine SiC dobiva grafen ili više slojeva grafena. Tehnološki gledano, SiC će vrlo vjerojatno biti osnova za "lansiranje" grafena u industrijsku primjenu. [2]

2.2. Svojstva grafena

Kao što je već navedeno, grafen je materijal izuzetnih električnih, toplinskih i mehaničkih svojstava. Prvi je otkriveni dvodimenzionalni atomski kristal, čija je beskonačna ploha debela samo jedan atom: ništa tanje od toga ne postoji. Zbog svojih svojstava grafen je najperspektivniji materijal nanoznanosti. Njegov osnovni građevni blok je atom ugljika čiju jezgru okružuje elektronski oblak od šest elektrona, razvrstanih u dvije ljuske. Unutrašnja elektronska ljuska, $1s^2$, sadrži dva elektrona, a vanjska, $2s^2 2p^2$, preostala četiri elektrona. Upravo je raspodjela elektrona u vanjskoj ljusci ključna za svojstva materijala sačinjenih od ugljika. Četiri elektrona iz vanjske, valentne, ljuske igraju glavnu ulogu u prostornom vezanju ugljikovih atoma. Naime, prilikom vezanja, atomske (elektronske) se orbitale mogu preurediti, hibridizirati, pri čemu novonastale hibridne orbitale omogućuju specifično vezivanje atoma u molekulama i kristalima. Koncept hibridizacije ključan je u kemiji i dobro poznat za ugljikov atom, a uveo ga je Linus Pauling. Grafit nastaje vezanjem sp^2 hibridiziranih atoma, pa tako i grafen, koji je monosloj grafita. Tu strukturu možemo matematički lako opisati ako uvedemo sp^2 orbitale, ili σ-orbitale koje čine najčvršću poznatu kemijsku vezu, što grafen čini najčvršćim mogućim materijalom. Slobodne p, odnosno π, orbitale u grafenu se udružuju, tako da se elektroni gibaju preko grafenske ravnine. Iz činjenice da su sp^2 orbitale ekvivalentne jer su sve to identični ugljikovi atomi, proizlazi niz privlačnih svojstava grafena,

koja ga čine glavnim materijalom za primjenu u elektronici, odnosno u novo koncipiranoj elektroničkoj industriji koja će se bazirati na grafenu i njemu bliskim strukturama. [2,3,5]



Slika 3. Struktura pčelinjeg saća (lijevo), te nanometarska saćasta struktura grafena (sredina). Desno su prikazane σ hibridne orbitale koje vežu atome u grafenu te π orbitala koja mu daje karakteristična električna svojstva. [2]

Grafit se sastoji od niza ravnina grafena slabo povezanih van der Waalsovim silama, a može se pokazati i da je grafen osnovna građevna osnova za ostale materijale bazirane na sp^2 hibridnom vezanju, kao što su molekule fulerena te ugljične nanocjevčice. Nadalje, opisujući svojstva grafita, za razliku od dijamanta koji je također alotropska modifikacija ugljika, vidimo da je on neproziran. Međutim, kad se grafit stanjuje do svega nekoliko grafenskih slojeva, postaje poluproziran. U konačnici, jedan sloj, grafen, propušta otprilike 95% svjetlosti, a reflektira svega oko 5% upadne svjetlosti, što je dovoljno da se pomoću optičke mikroskopije jednostavno identificira područje na uzorku koje sadrži grafen. [2]

Posebnost grafena je da se elektroni iz π orbitala, odnosno elektronskih vrpci, gibaju vrlo brzo, kao da su bez mase. Tipične su čestice bez mase fotoni, koji se u vakuumu gibaju brzinom svjetlosti, 300.000 km/s. Elektroni se u grafenu gibaju tristotinjak puta sporije, ali također su bezmasenog karaktera. Zato se za elektrone u grafenu kaže da su bezmaseni nosioci naboja koji mogu u potpunosti proći kroz potencijalne prepreke, iako nemaju dovoljno energije da ih "preskoče". Kroz grafen možemo istovremeno provesti veliki broj elektrona, što pokazuje njihovu veliku mobilnost kao nosilaca naboja. Mobilnost elektrona u grafenu je veća nego u bilo kojem drugom poznatom materijalu. Bitno je naglasiti da ta svojstva dolaze do izražaja na sobnoj temperaturi gdje grafen pokazuje dobru vodljivost, dok je materijale kao što su visokotemperaturni supervodiči potrebno ohladiti na temperaturu

koja je stotine stupnjeva ispod sobne da bi se pokazala dobra svojstva vodljivosti bez električnog otpora. [2]

Grafen je dakle najtanji dvodimenzionalni kristal, debljine jednog atoma, jači je od čelika, provodi struju bolje od bakra, rastezljiv je, provodi toplinu bolje od bilo kojega drugog materijala, proziran je, neprobojan i nereaktivan, odnosno otporan na kiseline, te postoji u slobodnom obliku i ne uništava se lako iako je izuzetno tanak [5].

3. PRIMJENA GRAFENA U INŽENJERSTVU MATERIJALA PREMA NJEGOVIM SVOJSTVIMA

3.1. Električna svojstva grafena

Sve veći zahtjevi za energijom danas potiču mnoge zemlje na ulaganje velikih napora u pronalazak novih izvora energije ili novih načina za njezinu pohranu. Kao što smo već naveli, slobodne se π orbitale u grafenu udružuju te se elektroni gibaju preko grafenske ravnine. Iz toga proizlazi niz privlačnih svojstava grafena koja ga čine materijalom s vrlo velikim potencijalom za primjenu u elektronici [2].

3.1.1. Li-ionske baterije

Danas se sve više nastoji razviti uređaje za pohranu energije. Jedan takav uređaj je Li-ionska baterija, koja ima mnoge prednosti u odnosu na uobičajene baterije. Neke od tih prednosti su visoki napon otvorenoga kruga, visoke gustoće energije, dugi vijek trajanja, manje zagađenje te niska stopa samopražnjenja. Korisna svojstva Li-ionskih baterija prepoznata su te se u zadnje vrijeme sve više koriste. Danas su široko rasprostranjene u uređajima kao što su mobilni telefoni, prijenosna računala i mnogi drugi prijenosni elektronički uređaji. Ovdje će biti riječi o tome kako grafen utječe na poboljšanje Li-ionskih baterija. Kontinuirana trodimenzionalna vodljiva mreža formirana od grafena može učinkovito poboljšati transport elektrona i iona materijalima od kojih su izrađene elektrode. Tako se dodavanjem grafena može uvelike poboljšati svojstva Li-ionskih baterija i pružiti im

bolju kemijsku postojanost, veću električnu vodljivost i veći kapacitet. Li-ionske baterije rade tako da se ioni Li^+ kreću od negativne elektrode prema pozitivnoj tijekom pražnjenja, a obratno tijekom punjenja. Katodni i anodni materijali u Li-ionskim baterijama imaju nedostatke koji ograničavaju njihovu primjenu, a rješenje se traži upravo u uvođenju grafena baterije. Njegova dobra svojstva čine ga idealnim za formiranje kompozitnih materijala koji će biti osnova elektroda. Takva poboljšana elektroda s grafenom će trajati duže i imat će veći kapacitet. Razlog tome je dobra vodljivost grafena, što dovodi do manjeg zagrijavanja unutar elektrode, radi čega baterija može raditi pri nižim temperaturama, što na kraju poboljšava njezinu sigurnost. Kemijska redukcija grafen-oksida trenutno je najpogodnija metoda za takvu primjenu grafena u Li-ionskim baterijama. Međutim, važno je naglasiti da grafen još uvijek ne može izravno zamijeniti tradicionalni grafit kao anodni materijal [8].

3.1.2. Grafen kao aktivni materijal u superkondenzatorima

Racionalno korištenje električne energije zauzima važnije mjesto u svakodnevnom životu te su stoga uređaji za pohranu energije od velike važnosti. Glavne značajke uređaja za pohranu električne energije su gustoća energije i gustoća snage. Količina energije koju uređaj može pohraniti po jedinici volumena uređaja naziva se gustoća energije, dok je gustoća snage energija koju uređaj može predati trošilu u jedinici vremena po jedinici volumena uređaja. U skupinu uređaja za pohranu energije pripadaju i superkondenzatori, koji se još nazivaju i elektrokemijski kondenzatori. Ističu velikom gustoćom snage koju mogu isporučiti, a koja im daje prednost pred ostalim elektrokemijskim spremnicima i pretvornicima. Glavni nedostatak superkondenzatora je mala količina energije koja se može uskladištiti. U svrhu poboljšanja svojstava superkondenzatora istražuju se različiti materijali za pohranu energije, među kojima je i grafen. Grafenova velika električna vodljivost, odlična mehanička čvrstoća te kemijska postojanost omogućuju mu primjenu u superkondenzatorima. Ukoliko se grafen primjenjuje u superkondenzatorima, koristi se kao aktivni elektrodni materijal u kombinaciji s materijalima poput vodljivih polimera te metalnih oksida. Tako dobiveni specifični kapaciteti znatno su veći u odnosu na kapacitet čistog vodljivog polimera ili metalnog oksida.

Pokazano je da i oksidirani oblik grafena, grafen-oksid (GO), pozitivno utječe na svojstva aktivnih materijala u superkondenzatorima [9, 10].

3.1.3. Grafen kao komponenta za solarne ćelije

Solarne su ćelije fotonaponske ćelije koje pretvaraju upadno elektromagnetsko zračenje u elektricitet te su predviđene i projektirane za najveću učinkovitost pri obasjavanju sunčevom svijetlosti. S obzirom na to da Sunce obasjava površinu Zemlje snagom od približno 1000 W po kvadratnom metru, korisnost tehnologije pretvorbe sunčevog zračenja u elektricitet je neupitna. U prošlosti, fotonaponske su se ćelije općenito upotrebljavale kao izvori električne energije na satelitima i sondama. Razvitkom tehnologije pojavljivale su se i mnoge nove mogućnosti upotrebe. Većina današnjih solarnih ćelija izrađuje se od silicija iznimno visoke čistoće, što njihovu cijenu održava visokom. Mnogi znanstvenici stoga istražuju alternative siliciju, kao što su nanostrukturirane ili hibridne solarne ćelije, u kojima se indijev i kositrov oksid koristi kao prozirna elektroda. Upotrebom prozirnih elektroda u fotonaponskim ćelijama može se izbjeći problem zaklanjanja upadnog zračenja, koji je glavni problem kod silicijevih i indijevih elektroda. Znanstvenici rade na izradi ćelija na osnovi grafena koje bi bile prikladne za komercijalnu proizvodnju jer bi bile mnogo jeftinije od klasičnih materijala poput indija, budući da se navedeni materijal koristi i u mnoge druge svrhe te nije jeftin, što nije slučaj s ugljikom. Silicij je materijal kojeg ima u izobilju, no ono što je kod njega problem je da ga je jako skupo dobiti čistog. Grafenske elektrode kao alternativa imaju niz prednosti kao što su fleksibilnost, mala težina, mehanička čvrstoća, kemijska postojanost te potencijalno niža cijena. S obzirom na to, znanstvenici sa Sveučilišta u Stanfordu izradili su solarne ćelije strukture sendviča i s kombinacijom ugljikovih nanocjevčica i grafena. Između elektroda napravljenih od grafena i nanocjevčica nalazi se poseban fotoaktivni sloj, sastavljen od molekula fulerena, promjera 1 nm. Dakle, cijela solarna ćelija napravljena je od ugljika, a ovaj pristup omogućuje razvoj savitljivih, prozirnih i jeftinih solarnih ćelija. No nedostatak takvih ćelija je da upijaju primarno valne duljine svjetlosti bliske infracrvenom dijelu spektra, pa je njihova učinkovitost manja od 1 %, što je

mnogo manje od konvencionalnih ćelija. Međutim, istraživači se nadaju da će boljim materijalima i tehnikama znatno podignuti njihovu učinkovitost [5,11].

3.2. Grafen kao ojačavalo u kompozitima

Materijal je čvrsta tvar koja ima masu i zauzima prostor, a da bi se neka tvar smatrala materijalom, mora imati jedno ili više specifičnih materijalnih svojstava poput električne vodljivosti, otpornosti na koroziju i tome slično. Kompoziti su materijali sastavljeni iz drugih, zasebnih materijala, kao njihova mješavina, kako bi zajedno imali nova, poboljšana svojstva, koja sami za sebe nemaju. Sastavljeni su najmanje od dva materijala, jedan kao osnovni, a drugi za očvršćivanje. Grafen se, kao materijal izuzetno dobre čvrstoće, sve češće koristi kao ojačavalo u kompozitima. U usporedbi sa čelikom, ima pet do šest puta manju gustoću, dvostruko je tvrđi, deset puta jače čvrstoće i trinaest puta savitljiviji. Zbog tih svojstava ima veliku potencijalnu primjenu u proizvodnji vozila te posebno u avio-industriji kod koje je jako važan omjeru čvrstoće i težine materijala. Trenutno se u proizvodnji letjelica koriste ugljična vlakna, a grafen je mnogo lakši i čvršći u odnosu na njih. Očekuje se da će grafen u budućnosti potisnuti ostale materijale i u kombinaciji sa polimerima ili epoksidnim smolama davati kompozitne materijale koji će potisnuti metale iz konstrukcije letjelica, povećavajući stupanj iskorištenosti goriva i domet letjelice te smanjujući njenu ukupnu masu. Grafen se također može koristiti u vojnoj industriji za proizvodnju boljih oklopnih zaštitnih materijala za vozila i vojnike. Već se proizvode teniski reketi od kompozitnih materijala na bazi grafena koji imaju zadivljujuće performanse [12, 13].

3.3. Grafen kao zaštitna prevlaka protiv korozije

Znanstvenici s australskog Deakinovog sveučilišta pokazali su da grafenske čestice koje rastu izravno na nehrđajućem čeliku djeluju kao zaštita od korozije, što je jako povoljno za njihovu upotrebu kao zaštitnih prevlaka. Pripravljena je trodimenzionalna mreža grafenskih nanočestica na vlaknima nehrđajućeg čelika,čime je osim otpornosti metala na koroziju poboljšana i njegova električna vodljivost. Korozija je složen proces, ovisan o

uvjetima u okolišu te svojstvima metalnih površina (npr. hrapavost, prisutnost oksida). Premda je nehrđajući čelik u usporedbi s drugim metalima dosta otporan na koroziju u kiselim i vodenim sredinama, može biti osjetljiv na pojedinim mjestima što može dovesti do pucanja. Stoga su australski stručnjaci iskoristili prirodnu hidrofobnost grafena kako bi otjerali vodu s površine nehrđajućeg čelika. Osim toga, električna svojstva grafena smanjuju vjerojatnost redoks reakcije na površini te sprječavaju oksidaciju metala. Zbog nehomogenosti mikrostrukture nehrđajućeg čelika, nastali grafenski slojevi nisu bili visoko kristalni. Ispitivanjem kvašenja materijala utvrdili su da je površina čelika sa slojevima grafena bila jako hidrofobna kada je gustoća nanočestica bila najviša. Takav je materijal također pokazao najveću otpornost na koroziju u morskoj vodi, što pokazuje da prisutnost grafena povećava otpornost na koroziju bez ugrožavanja svojstava ili strukture originalnog materijala od nehrđajućeg čelika. Također, takva zaštita čelika može se primijeniti za poboljšanje toplinskih izmjenjivača, sustava molekulnog razdvajanja te biokompatibilnih materijala [14].

3.4. Grafen kao filtar u procesu desalinizacije

Desalinizacija je proces promjene morske ili boćate vode u vodu za piće. Što znači da se iz vode uklanjaju soli, bakterije i onečišćenja. S obzirom na to da je 97 % vode na Zemlji slana, morska voda, postupak desalinizacije je nužan za osiguranje opskrbe pitkom vodom. Metode uklanjanja soli iz vode skupe su i dugotrajne. Prema istraživačima s MIT-a, grafen zahvaljujući svojoj nanopropusnosti može povećati učinkovitost desalinizacije za dva ili tri reda veličine, odnosno 100 do 1000 puta, čime bi problem pitke vode u svijetu bio riješen. U procesu desalinizacije morska voda prolazi kroz membranu koja ne propušta sol, a propušta čistu vodu. Problem tog postupka je što je deblja membrana, manja je učinkovitost. Listovi grafena debljine su jednog atoma, a grafen je nanopropusan, odnosno može propustiti vodu ali ne i sol, što ga čini najboljom mogućom membranom. Postupak desalinizacije mogao bi se provesti bez primjene tlaka, koji je nužan kod običnih membrana za desalinaciju [5, 15].

3.5. Primjena grafena u biomedicini

Sekvenciranje je metoda kojom se utvrđuje redoslijed pojedinih konstitucijskih elemenata u velikoj molekuli. Kod DNK i RNK utvrđuje se redoslijed nukleotida, a kod bjelančevina redoslijed aminokiselina. Sekvenciranje DNK svojevrstan je početak istraživačke revolucije na polju genomike. Tako je sekvenciran genom 330 različitih organizama među kojima i čovjek. Ako je poznata sekvencija DNK, moguće je uz pomoć znanja o genskom kodu izravno odrediti sekvencija aminokiselina bjelančevine koja je kodirani produkt. Razvijeno je više metoda sekvenciranja DNK. U početku je to bilo velik i skup pothvat, dok se modernim metodama sekvenciranje odvija skoro automatski. Dvije najznačajnije metode sekvenciranja DNK su:

1. Sangerova tehnika, koja elegantno koristi prirodni tok replikacije DNK kao uzorak za sekvenciranje
2. Maxim-Gilbertova tehnika, koja se bazira na kemijskom razlaganju pojedinih baza.

Istraživači s Harvardovog Sveučilišta i MIT-a pokazali su da grafen, kao izuzetno tanak materijal, može djelovati kao umjetna membrana koja razdvaja dva odjeljka s vodom jedan od drugog. Debljina membrane određena je njenim međudjelovanjem s molekulama vode i ionima. Bušenjem malenih pora, odnosno nano-pora, oni su bili u mogućnosti mjeriti razmjene iona kroz pore i demonstrirati da se duga molekula DNK može provući kroz nano-pore na grafenu kao nit konca kroz ušicu igle. Električni napon narinut između rezervoara tjerao je ione prema membrani od grafena, a u slučaju postojanja nano-pora napon je kanalizirao protok iona kroz pore. Kada su u otopinu dodani dugi lanci DNA, električki su izdvajani jedan po jedan kroz grafenske nano-pore. Kako se molekula DNA provlačila kroz nano-pore, blokirala je protok iona, što je rezultiralo karakterističnim električnim signalom koji odražava veličinu i konformaciju DNK molekule. [16]

Daniel Branton s Harvardovog sveučilišta zajedno s kolegom Davidom Deamerom sa Sveučilišta u Kaliforniji predložio je da se nano-pore mogu koristiti za brzo čitanje genskih kodova. Naime, dok lanac DNK prolazi kroz nano-pore, mogu se identificirati nukelotidi, odnosno baze, koje su slova genetskog koda. Nano-pore u grafenu dovoljno su kratke kako bi

se moglo razlikovati dvije susjedne baze. Stoga bi jedinstvena debljina grafena mogla ostvariti san o vrlo povoljnom sekvenciranju [16,17].

4. RASPRAVA

Grafen je dvodimenzionalni atomski kristal koji se sastoji od ugljikovih atoma pravilno raspoređenih u kristalnu rešetku u obliku pčelinjeg saća (heksagonalna struktura). Svestran je materijal izuzetnih električnih, toplinskih i mehaničkih svojstava, koji je građen od beskonačne ravnine, debele samo jedan atom, što grafen čini najtanjim materijalom. Zbog svojih svojstava to je najperspektivniji materijal nanoznanosti. Najčvršći je i najlakši materijal koji provodi struju i toplinu bolje od ijednoga drugoga, te ga se stoga može upotrijebiti u velikom broju materijala. Poboljšava svojstva drugim, češće upotrebljavanim materijalima. Najpoznatiji i prvi proces dobivanja grafena je mehanička eksfolijacija (razdvajanja slojeva) grafita. Na osnovi njegovih svojstava, u radu je prikazana primjena grafena za Li-ionske baterije, superkondenzatore, solarne ćelije, ojačalo u kompozitima, zaštitu od korozije, poboljšanje postupka desalinizacije te za sekvenciranje DNK. Posebno je važan potencijal grafena kao materijala za nove načine pohrane energije (Li-ionske baterije, superkondenzatori), pošto je većina obnovljivih izvora energije nestalna, pa je potrebno nekako uskladištiti proizvedenu električnu energiju da se može trošiti prema potrebi. Kontinuirana trodimenzionalna vodljiva mreža od grafena može poboljšati prijenos elektrona i iona u elektrodnim materijalima, te tako pružiti bolju kemijsku postojanost, veću električnu vodljivost i veći kapacitet. Grafen omogućuje razvoj savitljivih, prozirnih i jeftinih solarnih ćelija, čime bi se proširile potencijalne primjene ćelija na npr. prozore, ekrane mobilnih uređaja i druge površine na kojima se sadašnje solarne ćelije ne mogu postaviti. No u svakom slučaju je potrebno dalje razvijati ovakve ćelije da bi se postigla isplativa učinkovitost, koja je sada manja od 1%. Grafen se također sve češće primjenjuje kao ojačavalo u kompozitima jer je čvršći od čelika. Ima potencijal kao zaštitna prevlaka na nehrđajućem čeliku protiv korozije

u morskoj vodi. Kao nanopropusna membrana mogao bi znatno povećati učinkovitost postupka desalinizacije te omogućiti vrlo povoljno sekvenciranje DNK.

Uz veliki potencijal grafena, najveći problem njegove šire primjene grafena leži u tome da se još uvijek traži najpovoljnija metoda za industrijsku proizvodnju većih količina grafena.

5. ZAKLJUČAK

U ovom su radu kroz razne primjere prikazane primjene grafena u inženjerstvu materijala te njegova općenita svojstva. Grafen je elementarni, dvodimenzionalni atomski kristal s nizom povoljnih svojstava kao što su dobra električna vodljivost, otpornost na koroziju, dobra toplinska vodljivost (veća od 6000 W/mK), čvrstoća, rastezljivost, nereaktivnost, poroznost te niz drugih. Dodatkom grafena drugim materijalima (elektrodnima, kompozitnima) mogu se poboljšati njihova svojstva. Grafen se često naziva materijalom budućnosti te je ovdje prikazana njegova potencijalna primjena u najrazličitije svrhe, iz čega se može zaključiti da je grafen uistinu materijal izuzetnih potencijala zbog čega se njime bave istraživači diljem svijeta. Problem njegove primjene, koji je zajednički svim ovim primjerima i kojega se nastoji riješiti, jest da grafen još uvijek nije prikladan za industrijsku proizvodnju, dijelom zbog ne postojanja odgovarajuće metode proizvodnje, dijelom zato što još uvijek treba usavršiti njegove potencijalne primjene.

6. LITERATURA

[1] Milorad Milun, Fizikalne osnove nanotehnologije, E-škola Fizika, Institut za fiziku, Zagreb, 2010.

[2] Marko Kralj, Grafenska zemlja čudesa, E-škola Fizika, Institut za fiziku, Zagreb, 2010.

[3] Luis E. Foa Torres, Stephan Roche, Jean Christophe Charlier, Introduction to Graphene-Based Nanomaterials: From Electronic Structure to Quantum Transport, Cambridge University Press, Cambridge 2014.

[4] Konstantin S. Novoselov, Graphene: Materials in the Flatland u Les prix Nobel: The Nobel Prizes 2010 (ur. Karl Grandin), Stockholm, 2011. str. 106-131.

[5] http://pixelizam.com/upoznajte-grafen-cudotvorni-materijal/

[6] Dan Li, Marc B. Muller, Scott Gilje, Richard B. Kaner, Gordon G. Wallace; Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets, Nature nanotechnology 3 (2008) 101-105.

[7] Andre K. Geim, Konstantin S. Novoselov, The rise of graphene, Nature Materials 6, (2007) 183-191.

[8] Jiping Zhue, Rui Duan, Sheng Zhang, Nan Jiang, Yangyang Zhang, Jie Zhu; The application of graphene in lithium ion battery electrode materials, SpringerPlus 3 (2014) 585 (8 str.).

[9] Aida Martin, Alberto Escarpa, Graphene: The cutting-edge interaction between chemistry and electrochemistry, Trends in Analytical Chemistry 56 (2014) 13-26.

[10] Matija Bjelobradić, Petra Vukić, Upotreba grafena i vodljivog polimera za pripravu aktivnih elektrodnih materijala kod superkondenzatora, Rad za Rektorovu nagradu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2015.

[11] Chun-Chao, Chen, Letian Dou, Rui Zhu, Choong-Heui Chung, Tze-Bin Song, Yue Bing Zheng, Steve Hawks, Gang Li, Paul S. Weiss, and Yang Yang, Visibly transparent polymer solar cells produced by solution processing, ACSnano 6 (2012) 7185-7190.

[12] Matija Galeković, Ugljikovo doba-Grafen i njegove primjene, seminarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2014.

[13] http://hr.wikipedia.org/wiki/Materijali

[14] http://www.materialstoday.com/carbon/news/graphene-coatings-make-steel-corrosionresistant

[15] http://www.desalinizacija.com.hr/

[16] http://znanost.geek.hr/clanak/grafen-sadrzi-kljuc-za-ubrzanje-sekvencioniranja-dna/

[17] Daniel Branton et al., The potential and challenges of nanopore sequencing, Nature Biotechnology 26 (2008) 1146 – 1153

7. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci:

Ime i prezime: Nikolina Miličević

Adresa: Stjepana Radića 123, 34310 Pleternica

E-mail: nikolina.milicevic92@gmail.com

Datum rođenja: 08.12.1992.

Školovanje:

Osnovna škola: *fra Kaje Adžića*, Pleternica (1999.-2007.)

Srednja škola : Gimnazija, Opća gimnazija, Požega (2007.-2011.)

Strani jezici: Aktivno poznavanje engleskog jezika, pasivno poznavanje njemačkog jezika

Tehničke vještine: Poznavanje rada na računalu u Microsoft Office programu

Stručnu praksu odradila sam u Zvečevo d.d. prehrambenoj industriji u Požegi u Sektoru za istraživanje i razvoj proizvoda i tehnologije.