



Šolski center Celje

Srednja šola za kemijo elektrotehniko in računalništvo

Sinteza grafena

Raziskovalna naloga

Avtor: Matevž Korošec

Mentor: Sebastian Klovar, dipl. ing. kem. teh

Letnik: 3.

Celje, marec 2014

Kazalo

Kazalo slikovnega materiala	4
Povzetek.....	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Abstract.....	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1. Uvod	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1 Teoretične osnove	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.1 Zgodovina nanomaterialov	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.2 Lastnosti grafena	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.3 Metode pridobivanja grafena ter grafenovega oksida	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.4 Možne uporabe grafena v prihodnosti.....	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.5 Postopki in metode dela	Napaka! Zaznamek ni definiran.
1.1.5.1 Nanos grafena in grafenovega oksida na stekelca	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2. Praktično delo	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.1 Hummerjeva metoda	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.1.1 Primerjava grafenovega oksida po Hummerjevi metodi s kupljenim grafenovim oksidom	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.2 Nanos grafena in grafenovega oksida na stekelca.	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.3 Komentar in opažanja sinteze grafenovega oksida ter nanosa...	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3 Zaključek	Napaka! Zaznamek ni definiran.

Sinteza grafena

- 4 Zahvala.....**Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5 Viri**Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 6 Viri slik**Napaka! Zaznamek ni definiran.**

Kazalo slikovnega materiala

Slika 1.....	Ogljikova nanocevka
Slika 2.....	Michael Faraday
Slika 3.....	Magnetni nanodelci
Slika 4.....	Molekulski prikaz grafita
Slika 5.....	Pridobivanje grafena z lepilnim trakom in grafitom
Slika 6.....	Telefon prihodnosti narejen iz grafena
Slika 7.....	Naprava za sintezo grafenovega oksida
Slika 8.....	Bučka z grafitom in kalijevim permanganatom
Slika 9.....	Bučka s suspenzijo grafenovega oksida in kisline
Slika 10.....	Centrifuga
Slika 11.....	Reagenčne steklenice s filtriranim in nefiltriranim GO
Slika 12.....	Polikarbonatni filtri
Slika 13.....	Stekelca oplaščena z grafenovim oksidom

Povzetek

Grafen je še doslej dokaj neraziskan nanomaterial, ki ima zelo velik potencial kot sredstvo za množično uporabo na več področjih. Vendar zaradi do zdaj še neodkritega načina masovne proizvodnje ter, še neraziskanih fizikalnih in kemijskih lastnosti tega materiala, lahko pričakujemo v bližnji prihodnosti preboj v znanosti ter množično proizvodno grafena.

Sam sem se odločil za to raziskovalno nalogu, ker sem navdušen nad potencialom tega materiala ter bi rad prispeval nekaj svojih idej k razvoju grafena. Predvsem me je navdušilo to, da ga proizvajamo v mikrokoličinah, ko pišemo s svinčnikom in da je material prihodnosti.

Ključne besede: nanomaterial, grafen

Abstract

Graphene is a material that is not well known in our everyday lives, but it has quite the potential to be used on many fields of science and ordinary life. But because there is no known method to produce it in large scales, we can expect a breakthrough in science in the near future.

I have decided for this research, because I am amazed about the potential of this material and contribute some of my knowlage to succesfull sinthesis of graphene. But the thing that inspired me the most is that every time we write wit the pencil we produce micro quantatiesof graphene and that it is the material of the future.

1. Uvod

Sem dijak tretjega letnika srednje šole za kemijo, elektrotehniko in računalništvo, in velik navdušenec nad kemijo. Kemija me navdušuje in sem inovativnega duha ter iščem novitete na Kemijskem področju. Te bi izboljšale svet ter nam olajšale življenje. Noviteta, ki sem si jo izbral, je nanomaterial z imenom grafen, tanka plast ogljikovih atomov, razporejenih v heksagonalen obroč. Čeprav je plast ogljikovih atomov tanka, ima izredne lastnosti, kot so fleksibilnost, prevodnost toplotne in električne energije, odpornost proti kislinam in bazam, neizmerno trdoto ter inertnost. Znanstveniki so ugotovili, da je grafen tako močen, da bi ga lahko obremenili s konico svinčnika, ki bi na sebi imel težo slona in bi še vedno obdržal svojo obliko.

Namen raziskovalne naloge je bil poiskati način sinteze grafena, ki bi jo lahko uporabljali za množično proizvodnjo. Kot možno metodo pridobivanja grafenovega oksida (oksidiran grafen), se je pokazala prirejena Hummerjeva metoda. Grafenov oksid sem si izbral zato, ker bi lahko iz njega izdelovali grafen, kot nadomestek papirja.

Zastavil sem si naslednjo hipotezo:

- Grafen lahko naredim iz zmletega grafita v šolskem laboratoriju, brez uporabe ekspandiranega grafita, ki je že bil preizkušen po tej metodi.

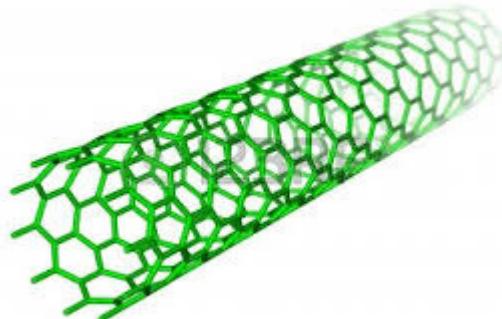
1.1 Teoretični del

V teoretičnem delu vam bom predstavil zgodovino nanodelcev, lastnosti, metode pridobivanja grafena ter grafenovega oksida in možne uporabe v prihodnost.

1.1.1 Nanomateriali

Nano material je vrsta materiala, ki ima vsaj eno od dimenzijs v nanosvetu, njihova velikost mora segati od 1 do 1000 μm , vendar ima večina nanomaterialov velikost pod 100 μm . Te lahko opazimo že v naravi, npr. na list lotosa padajo kapljice vode, vendar se zaradi voskaste hidrofobične površine zberejo na sredini lista. To so naravni nanomateriali. Druga vrsta so sintetični, ki jo delimo na dve vrsti:

- Fulereni: so alitropska vrsta ogljika, ki ima zgradbo cevke, ta pa je zgrajena iz zvite plasti grafena. Fullerene lahko pridobimo, če med grafitne elektrode spustimo ogromno količino toka v inertni atmosferi. Pri preskoku iskre plazme ter ogljika nastane sajast ostanek, iz katerega lahko pridobimo nanocevke.



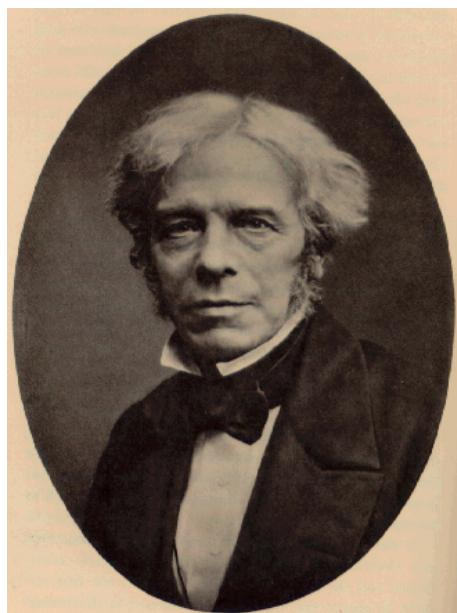
Slika 1: Ogljikova nanocevka

- Nanodelci: so anorganski ionski nanodelci, večinoma narejeni iz kovin, polprevodnikov ter oksidov. Oblike nanodelcev so lahko različne, nanožice, kvantne pike.

Zgodovina nanomaterialov

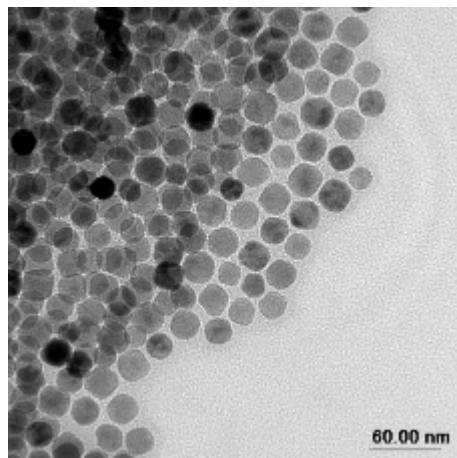
Zgodovina nanomaterialov sega vse do velikega poka, takrat so se pojavile prve nanostrukture meteorjev. Človek je znal prve nanomateriale narediti v prazgodovini, iz saj, ki so prihajale iz ognja. Vendar popoln razvoj se je začel veliko pozneje z odkritjem koloidnega srebra Michaela Faradaya leta 1847.

Sinteza grafena



Slika 2: Michael Faraday

Do zgodnjega leta 1940 so začeli izdelovati oborjene ter uparjene silicijeve nanodelce, ter jih začeli prodajati v Nemčiji in Ameriki kot nadomestni material pri izdelavi ojačene gume. Ti nanodelci so se izkazali za zelo uporabne v vsakdanjem življenju. Med letoma 1960 in 1970 so se razvili magnetni nanodelci, ki so jih uporabljali pri izdelavi kaset.



Slika 3: Magnetni nanodelci

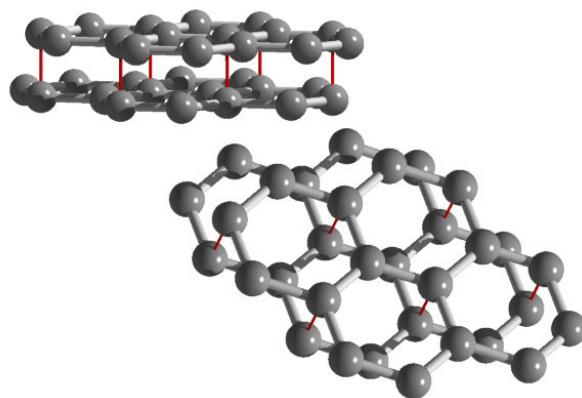
Nanokristali so se pojavili leta 1976 z novo metodo uparjanja z inertnim plinom. Tako je nastala barva, ki je bila odporna na kisline, baze ter korozijo.

Od leta 1990 pa se je na področju nanomaterialov zgodil preboj, pojavljajo se novi materiali in med njimi je tudi grafen, ki so ga prvič izolirali leta 2004 na univerzi v Manchesterju s pomočjo lepilnega traku in grafita. Izmerili so tudi fizikalne in kemične lastnosti. Leta 2005 je so s skupino Philipa Kima iz kolumbijske univerze dokazali da so delci v grafenu brezmasni Diracovi fermioni (delec, ki ni sam sebi antidelec).

1.1.2 Lastnosti grafena

Grafen je dvodimensionalna mreža ogljikovih atomov, ki so razporejeni v heksagonalno (šestkotno) strukturo. V naravi ga najdemo kot glavni sestavni del grafita, to pomeni, da so plasti grafita povezane z vezmi. Če bi hoteli pridobivati grafen, bi morali ločiti plasti grafita in pretrgati vezi. Čeprav je grafen le dvodimensionalna molekula, ima izredne mehanske, kemijske ter elektrokemijske lastnosti. Glede mehanskih lastnostih izstopa s tem, da je na ravni površini trši od diamanta. Ugotovili so, da bi se grafen pretrgal, če bi dali nanj konico svinčnika in ga obremenili s težo slona. Je trši od diamanta, vendar se za razliko od njega ne zlomi ob upogibu ampak, obdrži strukturo.

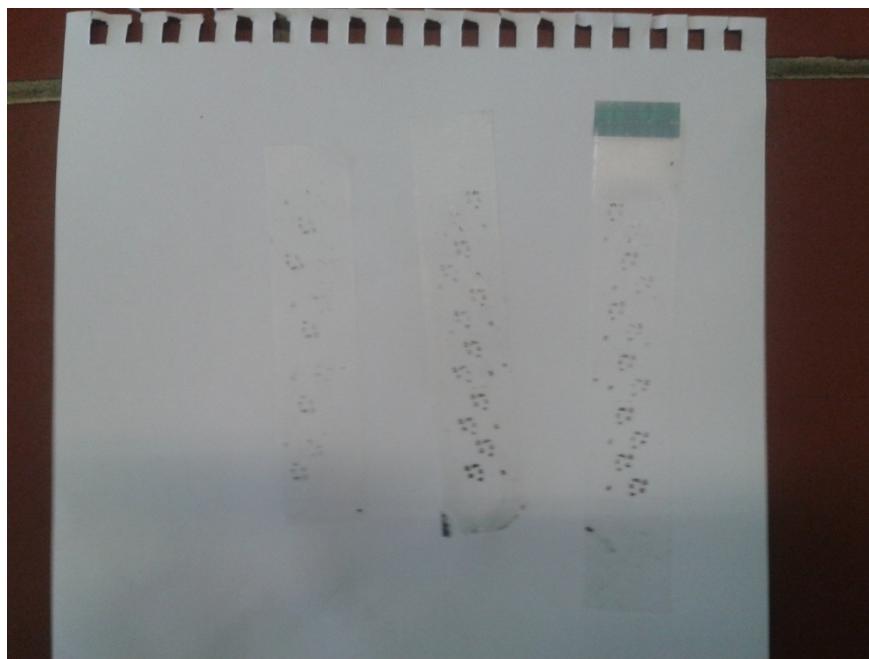
Grafen je tudi zelo inertna snov, saj ne reagira skoraj z ničimer ampak deluje kot adsorbent. Lahko ga funkcionaliziramo. Če nanj vežemo OH^- ion bo nastal grafenov oksid ali pa F^- ion, pri čemer nastane fluoriran grafen. Njegovi posebnost sta, da veliko bolj prevaja električni tok in toploto, zato bi bil odličen nadomestek bakra ter sestavnih delov v elektroniki saj se aparati nebi pregrevati in bi ostali hladni dlje časa.



Slika 4: Molekulski prikaz grafita

1.1.3 Metode pridobivanja grafena ter grafenovega oksida

Pridobivanje grafena z lepilnim trakom je osnovni način, poteka pa tako, da vzamemo košček grafita in ga prilepimo na lepilni trak, nato z drugim delom lepilnega traku prelepimo košček grafita. Ob razprtju trakov se razcepijo tudi medmolekulske vezi v grafitu in tako lahko pridobimo mikrokoličine grafena. Metoda za pridobivanje grafenovega oksida je predelana Hummerjeva metoda. Ta poskus so izvedli na japonski univerzi v Hokaidu, in sicer takole:



Slika 5: Pridobivanje grafena z lepilnim trakom in grafitom

Grafenov oksid se pridobiva z dodajanjem H_2SO_4 in H_3PO_4 (razmerje 9:1) v mešanico grafita in $KMnO_4$. Reakcija je močno eksotermna, zato jo je potrebno hladiti in jo izvajati v digestoriju. Ta postopek se izvaja tako dolgo, dokler se ne porabi celotna kislina in je zmes homogena. Hladna kopel se odstrani ter zmes meša do začetka volumetrične ekspandacije pri sobni temperaturi. Ko se ekspandacija konča se doda 400 ml vode na vodni kopeli ($90^\circ C$) ter se z mešanjem prepreči izločanje mehurčkov. Po eni uri se mešanje prekine ter počaka, da se suspenzija loči na dve plasti. Vse skupaj se prefiltrira, vendar se obdrži samo suspenzija grafenovega oksida ter kislinskega ostanka, ki je temno rumene barve. Suspenzija se centrifugira pri 10000 o/min dve uri da se izločijo nečistoči, nato pa se še očisti s sonifikatorjem (100 W).

Da se grafenov oksid izloči iz suspenzije je potrebno filtrirati skozi polikarbonatni filter (0.4 μm) in sušiti pri $80^\circ C$ nekaj ur. Po sušenju se filter spere z $Na_2S_2O_4$ (100 mg/ml) ter se suši pri $70^\circ C$ deset minut, med sušenjem se na filtru naredi film grafenovega oksida. Film se spere z deionizirano vodo ter suši pri $80^\circ C$ za nadaljnjo karakterizacijo.[1]

1.1.4 Možne uporabe grafena v prihodnosti

Grafen ima zelo širok spekter uporabe zaradi njegovi mehanskih in kemijskih lastnosti. Ker zelo dobro prevaja elektriko in toploto, bi bil idealen material za proizvodnjo električnih naprav, saj bi delovale hitreje brez prehitrega pregrevanja. Zaradi svoje mase ter zmožnosti upogibanja, bi bile naprave tanjše ter upogljive. Uporaben je tudi kot material za izdelovanje mikročipov, saj je bolj prevoden kot baker in bi ga lahko integrirali v silicijev čip, lahko bi ga všili v obleke kot solarne celice, ki bi proizvajale elektriko. V kemijskem svetu bi se lahko uporabljal kot adsorbent, filter, senzor plinov ... Vendar je njegov največji potencial v izdelovanju upogljivih telefonov, ki se ne pregrevajo in so izredno trpežni.



Slika 6: Telefon prihodnosti iz grafena

1.1.5 Postopki in metode dela

Pri delu sem uporabljal različne metode in postopke dela. Za sintezo grafena sem uporabil Hummerjevo metodo, ki sem jo opisal zgoraj in naredil nanos grafena in grafenovega oksida na stekelca. Uporabil sem navadni grafit v prahu in ne ekspandiranega, kot so ga uporabili v Hummerjevi metodi.

1.1.5.1 Nanos grafena in grafenovega oksida na stekelca

Za nanos sem potreboval stekelca, ki jih uporabljamo pri talilnem mikroskopu ter vzorce grafena in grafenovega oksida. Nanos sem naredil tako, da sem neposredno na stekelca kanil vzorec in ga sušil pri 100 °C.

2 Praktično delo

Ves praktični del sem izvedel v laboratorijih Srednje šole za kemijo elektrotehniko in računalništvo.

Ker mi je bila Hummerjeva metoda dokaj neznana sem vse opravljal ob prisotnosti učitelja, ki mi je razložil kako poteka reakcija. Po izvedbi reakcij sem vse skupaj prefiltriral ter označil vsako komponento posebej za nadaljnje delo.

Imel sem tudi kupljene vzorce grafena in grafenovega oksida, zato sem lahko primerjal izgled pridobljenega grafenovega oksida ter kupljenega.

2.1 Hummerjeva metoda

Za to metodo sem se odločil, ker sem jo lahko izvedel v našem laboratoriju. Ob uporabi navadnega grafita so bili rezultati pozitivni.

INVENTAR:

- laboratorijsko stojalo,
- lij dokapalnik, 100 ml,
- bučka z okroglim dnom, 500 ml,
- kristalizirka,
- magnetno mešalo z mešalčkom,
- Naprava za podtlачno filtriranje,
- filtrirni lončki, velikost por B-2 in B-4,
- centrifuga,
- precizna tehtnica,

Sinteza grafena

KEMIKALIJE:

Kemikalije	H stavki	P stavki	Opozorilni znaki
Kalijev permanganat ($KMnO_4$), 10 g	H272 H302 in H410	P220, P273, P501	 
Žveplova (VI) kislina (H_2SO_4), 100 ml	H312 in H314	P273 in P 280	
Fosforjeva (V) kislina (H_3PO_4), 11,1 ml	H290 in H314	P280, P305 + P351 + P338 in P310	
Grafit, 5 g	/	/	/
Natrijev tiosulfat (VI) ($Na_2S_2O_4$)	H251, H302	P235 + P410	

Dela sem se lotil tako da sem v 500 ml bučko natehtal 15 g $KMnO_4$ ter 5 g navadnega grafita. V lij dokopalnik sem dal 100 ml zmesi H_2SO_4 ter H_3PO_4 v razmerju 9:1 ter začel z dokapavanjem. H_3PO_4 se doda, da reakcija ni burna, saj je ob dodatku same H_2SO_4 reakcija močno eksotermna in izločali so se manganovi oksidi.

Sinteza grafena



Slika 7: Naprava za sintezo grafenovega oksida

Ob dodajanju kisline v zmes moramo imeti bučko v hladni kopeli zaradi eksotermne reakcije. Ko reakcija poteka, moramo mešati, dokler ne porabimo vse kisline, po tem sem pustil vse stati čez noč in naslednji dan sem ugotovil, da se je zmes ekspandirala. Naslednji korak je bil dodatek 400 ml vode ter segrevanje na vodni kopeli ob konstantnem mešanju za preprečitev izločanja mehurčkov. Bučko sem segreval nato tri ure na temperaturi 80 °C.



Slika 8 Bučka z grafitom in kalijevim permanganatom

Sinteza grafena

Ob prenehanju mešanja sem pustil vse stati čez noč, da se je homogena snov razdelila na dva dela. Nato sem prefiltriral skozi filtrirni papir in še enkrat skozi filtrirna lončka (velikost por B-4, B-2) ter del prefiltrirane snovi dal v centrifugo, kjer se je centrifugirala eno uro pri 3200 o/min. Vse skupaj sem nato prefiltriral skozi polikarbonatne filtre ter jih dal sušiti v sušilnik na 80 °C za nekaj ur. Po sušenju sem vse spral z Na₂S₂O₄ (100 mg/ml) ter ponovno dal v sušilnik na temperaturo 70 °C.



Slika 9: Bučka s suspenzijo grafenovega oksida in kisline

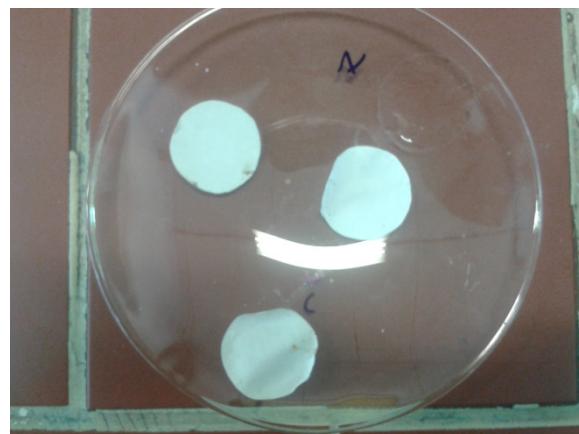


Sinteza grafena

Slika10: Centrifuga



Slika 11: Reagenčne steklenice s filtriranim in nefiltriranim GO



Slika 12: Polikarbonatni filtri

2.1.1 Primerjava grafenovega oksida po Hummerjevi metodi s kupljenim grafenovim oksidom

Po končanem delu sem imel suspenzijo grafenovega oksida, zato sem primerjal nanosa grafenovih oksidov ter prišel do ugotovitve, da sem v laboratoriju sintetiziral grafenov oksid. Zaradi specifičnosti analize grafenovega oksida v šolskem laboratoriju nimamo takšnih analiznih naprav. Želim, da bi analizo in uporabo grafenovega oksida izvedel v prihodnji raziskovalni nalogi.

2.2 Nanos grafena in grafenovega oksida na stekelca

Ker je šola naročila tudi že narejen grafen, grafenov oksid ter ekspandiran grafen, sem se odločil narediti nanos na stekelca. Na prvo stekelce sem nanesel grafen, na drugo stekelce grafenov oksid, na tretjega pa v našem laboratoriju pridobljen grafenov oksid, in vse dal v sušilnik na 100 °C dokler se ni posušilo. Grafen, ki je bil v raztopini, je bil prah bele barve, grafenov oksid je bil rjave barve, moj izdelek pa je bil bele barve, kar nakazuje, da sem sintetiziral grafen, ki ga bom v prihodnji raziskovalni nalogi poskušal analizirati ter slikati pod mikroskopom.



Slika 13: Stekelca oplaščena z grafenovim oksidom

2.3 Komentar in opažanja sinteze grafenovega oksida ter nanosa

Opazil sem, da je postopek pridobivanja grafenovega oksida zelo težek, in da ni okolju prijazen. Seznanil sem se z uporabo Hummerjeve metode ter ugotovil, katere reakcije potekajo pri sintezi. Pri reakciji moramo biti previdni, in jo izvajati v digestoriju, saj je močno eksotermna, zato dodamo tudi fosforjevo (V) kislino, ki omili proces in preprečuje izločanje manganovih oksidov. Slabost te reakcije je tudi čas, ki je potreben za sintezo, saj sem za 500 ml suspenzije potreboval dva dni.

Pri nanašanju na stekelca sem opazil, da po sušenju grafena ni bilo enotne plasti temveč kosmi, enako je bilo pri grafenovem oksidu narejenem po Hummerjevi metodi.

3 Zaključek

Z rezultati sem zelo zadovoljen, saj mi je uspelo mi je uporabiti Hummerjevo metodo, s katero sem naredil dokaj uspešno sintezo. Nanosi so mi pokazali, da je v šolskem laboratoriju mogoče sintetizirati grafenov oksid ter da grafen lahko nanesemo, vendar ne dobimo enotne plasti, temveč kosme.

Hipotezo, ki sem si jo zadal, sem potrdil, saj je mogoče sintetizirati grafen iz navadnega grafita v šolskem laboratoriju.

V prihodnje si želim razširiti raziskovalno naloge na področje analize in uporabe grafena, saj ta kot tudi ostali nanomateriali predstavljajo potencialno revolucijo v razvoju človeštva.

4 Zahvala

Zahvalil bi se mentorju Sebastianu Klovarju, ki mi je pomagal pri izvedbi raziskovalne naloge in iskanju podatkov ter podajanju uporabnih nasvetov.

Zahvalil bi se tudi lektorici Valentini Hrastnik, ki mi je pregledala raziskovalno nalogu ter jo slovnično popravila.

5 Viri

<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1301/1301.3253.pdf>

<http://www.graphene.manchester.ac.uk/story/properties/>

<http://www.advanceddiamond.com/whitepapers/LargeAreaGrapheneFromGraphite.pdf>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702112700445>

6 Viri slik

[https://www.google.si/search?q=fuleren+tubes&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=fF8gU6noFOOk7Qa1loDoBQ&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1600&bih=799#facrc=_&imgdii=_&imgrc=GhhCmzz29J6R6M%253A%3BzYi5XiP8h3PRWM%3Bhttp%253A%252F%252Fus.123rf.com%252F400wm%252F400%252F400%252Felec%252Felec1202%252Felec120200123%252F12416496-carbon-nanotube-sticks-model-on-a-white-background背景.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.123rf.com%252Fphoto_12416496_carbon-nanotube-sticks-model-on-a-white-background.html%3B400%3B267](https://www.google.si/search?q=fuleren+tubes&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=fF8gU6noFOOk7Qa1loDoBQ&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1600&bih=799#facrc=_&imgdii=_&imgrc=GhhCmzz29J6R6M%253A%3BzYi5XiP8h3PRWM%3Bhttp%253A%252F%252Fus.123rf.com%252F400wm%252F400%252F400%252Felec%252Felec1202%252Felec120200123%252F12416496-carbon-nanotube-sticks-model-on-a-white-background.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.123rf.com%252Fphoto_12416496_carbon-nanotube-sticks-model-on-a-white-background.html%3B400%3B267)

https://www.google.si/search?q=magnetic+nanoparticles&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=2&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=rmogU9ysEqSR7AbK54D4Cg&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1600&bih=799#facrc=_&imgdii=_&imgrc=405YLdnQmcv6eM%253A%3BQ6wSzvTqTrr4M%3Bhttps%253A%252F%252Fip.sandia.gov%252Fimages%252Ftech%252Fthumb%252FSynthesis%252520of%252520uniform%252520magneticPicture1.png%3Bhttps%253A%252F%252Fip.sandia.gov%252Ftechnology.do%252FtechID%253D116%3B225%3B225

https://www.google.si/search?q=graphite&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=2&es_sm=93&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=8YMgU9OOLaaS7QaRqlFw&ved=0CD8QsAQ&biw=1600&bih=799#q=graphite+structure&tbm=isch&facrc=_&imgdii=_&imgrc=xOg0BzBkHSTcrM%253A%3Bbxf3wdzximDAM%3Bhttp%253A%252F%252Ffacweb.bhc.edu%252Facademics%252Fscience%252Fharwood%252Fgeol101%252Fstudy%252FImages%252Fgraphite.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Ffacweb.bhc.edu%252Facademics%252Fscience%252Fharwood%252Fgeol101%252Fstudy%252Fminerals.htm%3B600%3B400

https://www.google.si/search?q=michael+faraday&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=2&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=OQAiU4_zOOzb7AaCu4CICQ&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1600&bih=799#facrc=_&imgdii=_&imgrc=ly8vkqTz0qR76M%253A%3BVT_d0HrRqk1ZcM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.general-anaesthesia.com%252FImages%252Fmichael-faraday.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.general-anaesthesia.com%252FImages%252Fmichael-faraday.html%3B328%3B439

https://www.google.si/search?q=graphene+telephone&rlz=1C1GGGE_siHR441&espv=2&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2AAiU-nPEdGA7Qa-3oCYDA&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1600&bih=799#facrc=_&imgrc=B60yCXIfZ04qtM%253A%3BDifY5X7VbwXnM%3Bhttp%253A%252F%252Fstatic.guim.co.uk%252Fsys-images%252FGuardian%252FPix%252Fcommercial%252F2011%252F8%252F16%252F1313492403668%252FA-graphene-covered-mobile-007.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.theguardian.com%252Fnanotechnology-world%252Fgraphene-a-miracle-material-in-the-making%3B460%3B276

Síntese grafena