

# NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FIZIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

**PREDMET:** Izveštaj komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata  
Almedine Modrić-Šahbazović, magistra prirodnih nauka iz područja fizike

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sa VI redovne sednice održane 27. 05. 2020. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu doktorske disertacije kandidata Almedine Modrić-Šahbazović, magistra prirodnih nauka iz područja fizike i studenta doktorskih studija Fizičkog fakulteta pod naslovom: „**Strukturna i optička svojstva plazmonskih nanočestica srebra dobijenih jonskim bombardovanjem monokristalnog silicijuma**“ iz uže naučne oblasti fizika kondenzovane materije. Kandidatkinja Almedina Modrić-Šahbazović je doktorsku disertaciju predala Fizičkom fakultetu 20. 03. 2020. godine.

Na osnovu pregleda i analize doktorske disertacije kandidata podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći:

## IZVEŠTAJ

### 1. OSNOVNI PODACI O KANDIDATU

#### 1.1. Biografski podaci

Kandidatkinja Almedina Modrić-Šahbazović je rođena 16. 09. 1986. godine u Tuzli, Bosna i Hercegovina. Osnovnu i srednju Elektrotehničku školu je završila u Banovićima, Bosna i Hercegovina. Osnovne akademske studije završila je na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli, odsek Fizika. Diplomirala je 2008. godine sa prosečnom ocenom tokom studija 9,57, zbog čega je nagrađena priznanjem „Zlatni student“ Univerziteta u Tuzli, dok je poslediplomske studije na istom fakultetu završila 2011. godine. Doktorske akademske studije je upisala 2015. godine na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

U periodu od 2008.-2014. godine radila je u osnovnim i srednjim školama kao profesor fizike, dok je istovremeno bila angažovana kao spoljni saradnik Univerziteta u Tuzli. Od 2014. godine do danas je zaposlena na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli u zvanju Viši asistent, za užu naučnu oblast Opšta i eksperimentalna fizika.

#### 1.2. Naučna aktivnost

Naučna aktivnost Almedine Modrić-Šahbazović odvija se u užoj naučnoj oblasti modifikacije čvrstih materijala jonskim snopovima, koja je u okviru oblasti fizike kondenzovane materije. Posebnu pažnju u svojim istraživanjima usmerila je na ispitivanje uslova za sintezu plazmonskih nanočestica srebra u monokristalnom silicijumu metodom jonskog bombardovanja i analizu strukturnih i optičkih svojstava dobijenih sistema. Najveći deo istraživačkog rada odvijao se u Laboratoriji za atomsku fiziku Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, a jedan deo eksperimentalnih istraživanja je obavljen na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Tuzli (Bosna i Hercegovina) i na Institutu za fiziku čvrstog stanja, Friedrich-Schiller Univerziteta u Jeni (Republika Nemačka). Autor ili koautor je 12 radova u međunarodnim časopisima sa SCI liste (5 radova iz doktorske disertacije) i 5 saopštenja sa naučnih skupova.

## 2. OPIS PREDATOG RADA

### 2.1. Osnovni podaci

Doktorska disertacija Almedine Modrić-Šahbazović rađena je pod mentorstvom dr Mirjane Novaković, višeg naučnog saradnika Instituta za nuklearne nauke „Vinča“. Mentor ispunjava uslove Fizičkog fakulteta za rukovođenje izradom doktorske disertacije jer je u naučnom zvanju i autor je velikog broja radova upravo iz oblasti modifikacije čvrstih materijala indukovanih interakcijom sa jonskim snopovima, koji su objavljeni u vodećim međunarodnim časopisima. Za rukovodioca ove doktorske disertacije imenovana je od strane Nastavno-naučnog veća Fizičkog fakulteta na sednici održanoj 28. 02. 2018. godine kada je i odobrena izrada doktorske disertacije pod navedenim naslovom. Saglasnost na predlog doktorske disertacije Almedine Modrić-Šahbazović dobijena je na sednici Veća naučnih oblasti prirodno-matematičkih nauka Univerziteta u Beogradu koja je održana 16. 04. 2018. godine.

Disertacija je napisana na 98 strana i u skladu je sa *Upustvom za oblikovanje doktorske disertacije Univerziteta u Beogradu*. Sastoji se od sledećih celina: Uvod (3 strane), Osnove plazmonike (9 strana), Modifikacija materijala jonskim snopom (8 strana), Cilj rada (1 strana), Eksperiment (19 strana), Rezultati i diskusija (40 strana), Zaključak (2 strane), Literatura – 143 navoda (7 strana), Prilog A (7 strana) i Biografija autora (2 strane). Disertacija sadrži ukupno 62 slike (13 slika preuzetih iz literature i 49 slika koje predstavljaju rezultate dobijene u toku izrade teze) i 6 tabela koje su dobijene tokom izrade teze.

U poglavlju *Uvod* kratko su opisane tematika i aktuelnost problematike koja je bila predmet istraživanja ove doktorske disertacije. Takođe, u ovom delu teze su prezentovani i eksperimentalni rezultati analize plazmonskih metalnih čestica dobijenih modifikacijom jonskim snopom koji postoje u literaturi.

U poglavlju *Osnove plazmonike* je dat kratak pregled plazmonike kao relativno nove naučne oblasti. Detaljno je predstavljena teorijska analiza interakcije i rasejavanja svetlosti na malim sfernim česticama i definisani su uslovi za pojavu rezonancije lokalizovanog površinskog plazmona (SPR) u metalnim nanočesticama.

U poglavlju *Modifikacija materijala jonskim snopom* je data teorijska osnova interakcije čvrstih materijala sa energijskim jonima i modifikacije materijala korišćenjem jonskih snopova. Definisane su osnovne veličine koje su važne u procesu modifikacije materijala metodom jonske implantacije.

U poglavlju *Cilj rada* je prikazana problematika kojom se bavi ovaj rad i dati su osnovni ciljevi izvedenih istraživanja.

Poglavlje *Eksperiment* sadrži opis eksperimentalnih metoda korišćenih u ovom radu. Opisane su metode koje su korišćene za modifikaciju i karakterizaciju monokristalnog silicijuma implantiranog jonima srebra, kao i sam tok eksperimenta.

U poglavlju *Rezultati i diskusija*, kandidatkinja je predstavila svoj originalni doprinos i ostvarene rezultate u ovoj oblasti. Prikazani su i diskutovani dobijeni rezultati za strukturalna i optička svojstva monokristalnog silicijuma modifikovanog na tri načina. Ispitan je efekat jednostruke i dvostruke implantacije jonima srebra, efekat odgrevanja nakon implantacije kao i nanostrukturiranje silicijuma implantacijom Ag jonima kroz polistirensku nanomasku.

U *Zaključku* su sumirani svi rezultati i zaključci istraživanja koji su obuhvaćeni tezom.

U delu *Prilog A* su prikazani rezultati eksperimenta formiranja homogenog monosloja polistirena na Si podlozi pomoću metode rotirajućeg diska. Tako dobijeni homogeni monosloj polistirena je korišćen kao nanomaska u procesu selektivnog ozračivanja jonima srebra.

### 2.2. Predmet i cilj rada

Doktorska teza pripada eksperimentalnom delu naučne oblasti fizika kondenzovane materije za koji je matičan Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije obuhvata ispitivanje uslova za formiranje plazmonskih nanočestica srebra u

monokristalnom silicijumu metodom jonskog bombardovanja i analizu strukturnih i optičkih svojstava dobijenih sistema.

Površinska plazmonska rezonancija se može opisati kao rezonantno, kolektivno oscilovanje valentnih elektrona na granici metal-dielektrik stimulirano upadnom svetlošću. Rezonantni uslov je uspostavljen kada frekvencija upadnih fotona odgovara sopstvenoj frekvenciji oscilujućih elektrona pod dejstvom restitucionih sila kojima deluje jezgro. Površinska plazmonska rezonancija u strukturama nanometarskih dimenzija, kao što su nanočestice, naziva se lokalizovana površinska plazmonska rezonancija (SPR). To je rezultat konfiniranja plazmona u nanočesticama čije su dimenzije reda veličine ili manje od talasne dužine svetlosti koja je korišćena za ekscitovanje plazmona. Pozicija i širina plazmanskog maksimuma značajno zavise od veličine, oblika nanočestica i svojstava okružujuće sredine, tako da je dublje razumevanje ovih efekata potrebno za bolje razumevanje optičkih svojstava ovih sistema.

Proteklih nekoliko godina posebna pažnja je usmerena na sintezu nanostrukture prelaznih metala (npr. Ag, Cu, Au, Fe) u površinskim i pod-površinskim oblastima silicijuma (Si) i silicijum-dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) u cilju temeljnog razumevanja dobijenih struktura, kao i poboljšanja njihovih elektronskih i optičkih svojstava zbog različitih tehnoloških primena. Ovakvi sistemi nalaze primenu u oblasti plazmonike, fotonaponskih uređaja, medicine i biosenzora. Uočeno je da raspodela i dimenzije metalnih nanočestica u silicijumskoj matrici imaju ključnu ulogu u svim oblastima primena, pa se nameće potreba za preciznom kontrolom koncentracije, veličine i oblika formiranih nanočestica. Jedna od najpogodnijih metoda za sintezu nanočestica u čvrstim materijalima je nisko-energijska jonska implantacija. Ova metoda omogućava kontrolu dubine i koncentracije implantiranih jona u datoj matrici. Naknadnim odgrevanjem implantiranih uzoraka moguće je postići uslove za rast formiranih nanočestica. Način da se formiraju nove nanostrukture korišćenjem metode jonske implantacije je korišćenje nanomaske u toku samog procesa implantacije. Kao masku je moguće koristiti nanosfere  $\text{SiO}_2$  ili polistirena (PS), veličine od 100 - 1000 nm, koje imaju sposobnost samouređenja. U poređenju sa drugim sferama, PS sfere su poželjan materijal za maskiranje zbog visokog stepena ujednačenosti na nivou većih dimenzija, kao i zbog niskih troškova. Nedavno je pokazano da se čak i za niske energije jonskog zračenja nanomaske deformišu, što dovodi do karbonizacije, umrežavanja i smanjenja otvora u nanomaski. Do sada nije u potpunosti ispitana kontrola oblika nanomaski pod dejstvom jonskih snopova.

Cilj ovog istraživanja je bio ispitivanje strukturnih i optičkih svojstava monokristalnog Si modifikovanog implantacijom nisko-energijskih jona srebra (60 keV i 75 keV) i analiziranje kompleksnih procesa interakcije jonskog snopa sa materijalom koji doprinose efektu plazmonske rezonancije. U svrhu postizanja tog cilja, tokom procesa ozračivanja menjani su različiti parametri procesa implantacije, kao što su energija jona i jonska doza, i definisani su uslovi za formiranje plazmotskih Ag nanočestica u pod-površinskoj oblasti silicijumskih podloga. Pored primene različitih energija upadnog snopa, posmatrani su i efekti kombinovanja različitih energija u procesu dvostruke implantacije (75 keV + 60 keV), kao i efekti naknadnog odgrevanja uzoraka na plazmonska svojstva formiranih čestica. Posebna pažnja je posvećena ispitivanju mikrostrukture same podloge i njenog uticaja na oblik i položaj lokalizovanog površinskog plazmona metalnih čestica. Drugi pravac istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji bio je vezan za nanostrukturiranje Si podloga jonima srebra i formiranje specifičnih plazmotskih struktura u procesu selektivne jonske implantacije. U svrhu toga, ispitani su uslovi dobijanja homogenog monosloja polistirena na Si podlogama koji su služili kao nanomaska pri implantaciji jona Ag. Definirano je pri kojim jonskim dozama dolazi do deformisanja oblika PS sfera i određeni su uslovi pri kojima se formirani monosloj može koristiti kao nanomaska u cilju bolje kontrole oblika i veličine Ag nanočestica u Si podlogama.

Krajnji cilj predložene teme bio je bolje razumevanje fundamentalnih fizičkih procesa na atomskoj skali indukovanih tokom procesa implantacije materijala i njihovih efekata na strukturna i optička svojstva dobijenih struktura. Kombinovanjem različitih analitičkih tehnika analizirane su sličnosti i razlike procesa homogenog jonskog ozračivanja materijala i selektivnog ozračivanja korišćenjem nanomaske, i definisani su uslovi za formiranje plazmotskih Ag nanostrukture u silicijumskoj podlozi. Pored toga, ispitan je uticaj naknadnog termičkog tretmana na svojstva ovako dobijenih sistema.

Karakterizacija Si podloga je izvršena pomoću nekoliko eksperimentalnih tehnika za analizu sastava, strukture i optičkih svojstava materijala. Struktura i fazni sastav uzoraka su analizirani transmisivnom elektronskom mikroskopijom (TEM), fotoemisionom spektroskopijom X-zracima (XPS) i spektrometrijom Rutherford-ovim povratnim rasijanjem (RBS), dok su optička svojstva ispitana korišćenjem spektroskopske elipsometrije (SE). Za ispitivanje kvaliteta dobijenog PS monosloja na Si podlogama korišćena je skanirajuća elektronska mikroskopija (SEM).

### 2.3. Publikacije

U ovoj doktorskoj tezi su predstavljeni rezultati 5 radova objavljenih u međunarodnim časopisima od kojih su 2 sa impakt faktorom većim od 1. U svim radovima Almedina Modrić-Šahbazović je prvi autor. Rezultati ove teze predstavljeni su na 5 međunarodnih konferencija koje su date u spisu publikacija kandidata.

### 2.4. Prikaz postignutih rezultata

Najvažniji rezultati u okviru doktorske disertacije prikazani su u poglavlju 6 koje je sastavljeno od 3 celine.

Prva celina se odnosi na istraživanje strukturnih i optičkih svojstava monokristalnog silicijuma u procesu jednostruke i dvostruke implantacije Ag jona [A1, B1, B4]. Pokazano je da zavisno od energije jona, kao i od načina izvođenja procesa implantacije (jednostruke ili višestruke implantacije), dolazi do različitih efekata u materijalu, što se manifestuje kako u mikrostrukturnim promenama, tako i u promenama optičkih svojstava ovog materijala. Sa porastom jonske doze SPR maksimum postaje intenzivniji i pomera se ka većim vrednostima talasnih dužina. Ovo je rezultat formiranja većeg broja metalnih čestica i njihovog rasta sa povećanjem koncentracije srebra u Si podlozi. Sa druge strane, uočeno je da energija jona definiše stepen oštećenja podloge i doprinosi pojačanju efekta rezonancije. Uticaj oštećenja je posebno značajan u slučaju višestrukih implantacija, gde kombinovanjem različitih energija jonskog snopa oštećena oblast postaje šira, a formirani defekti složeniji. Efekat okolne matrice na položaj SPR maksimuma nije predviđen do sada poznatim teorijskim analizama, pa su uočene promene u optičkim spektrima znatno izraženije u odnosu na teorijska predviđanja.

Druga celina rezultata i diskusije u ovoj doktorskoj disertaciji se odnosi na odgrevanje monokristalnog silicijuma nakon implantacije jona srebra i ispitivanje efekta termičkog tretmana na plazmonska svojstva Ag čestica [A3]. Pokazano je da odgrevanje dovodi do rasta formiranih nanočestica srebra, smanjenja broja defekata i rekristalizacije silicijumske matrice. Ove strukturne promene se direktno manifestuju na optička svojstva sistema i na položaj karakterističnog SPR maksimuma. Na temperaturama od 500°C i 600°C odgrevanje utiče na rast čestica i SPR maksimum se pomera u oblast nižih talasnih dužina u odnosu na neodgrejani uzorak. Sa daljim porastom temperature na 700°C, rezonantni maksimum se pomera prema većim vrednostima talasnih dužina. Pretpostavlja se da na ovoj temperaturi do izražaja dolaze doprinosi rekristalizacije Si matrice. Osim toga, termički tretirani uzorci pokazuju sveukupni pad optičke apsorpcije koji raste sa temperaturom odgrevanja, a pretpostavlja se da je rezultat interdifuzije Ag i Si atoma i/ili smanjenja koncentracije srebra u Si matrici.

Rezultati ispitivanja uticaja selektivne modifikacije (implantacijom kroz polistirensku nanomasku) monokristalnog silicijuma Ag jonskim snopom na njegova strukturna i optička svojstva, prikazani su i diskutovani u trećoj celini 6. poglavlja [A2, A4, B2, B3, B5]. Pokazano je da se definisanjem parametara implantacije mogu postići uslovi za formiranje uniformno raspoređenih i modifikovanih Si oblasti nanometarskih dimenzija, sa specifičnim plazmonskim svojstvima. Međutim, rezultati su pokazali da se polistirenska nanomaska deformiše pod dejstvom jonskog snopa, pa je opseg doza za koje se može koristiti ograničen.

### 3. SPISAK PUBLIKACIJA KANDIDATA

#### A. Radovi proistekli iz izrade doktorske disertacije

##### Radovi u međunarodnim časopisima sa impakt faktorom preko 1

1. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, M. Popović, E. Schmidt, I. Gazdić, N. Bibić, C. Ronning, Z. Rakočević, *Formation of Ag nanoparticles in Si (100) wafers by single and multiple low energy Ag ions implantation*, Surface & Coatings Technology **377** (2019) 124913, (IF 3.192).
2. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, E. Schmidt, I. Gazdić, V. Đokić, D. Peruško, N. Bibić, C. Ronning, Z. Rakočević, *Silicon nanostructuring by Ag ions implantation through nanosphere lithography mask*, Optical Materials **88**, (2019), 508–515, (IF 2.687).

##### Radovi u međunarodnim časopisima sa impakt faktorom ispod 1

3. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, E. Schmidt, N. Bibić, I. Gazdić, C. Ronning, Z. Rakočević, *Thermal annealing of Ag implanted silicon: relationship between structural and optical properties*, Science of Sintering **52(2)** (2020).
4. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, V. Đokić, I. Gazdić, N. Bibić, Z. Rakočević, *Formation of a large-area monolayer of polystyrene film via the spin-coating method*, Nuclear Technology & Radiation Protection **33(3)**, (2018), 246-251.

##### Radovi u časopisima nacionalnog značaja

5. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, N. Bibić, I. Gazdić, Z. Rakočević, *Optical Properties of Low-energy Ag Ion Implanted Monocrystalline Silicon*, Tehnika **3**, (2018), 325-329.

#### B. Saopštenja proistekla iz izrade doktorske disertacije sa skupa međunarodnog značaja štampano u izvodu

1. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, I. Gazdić, N. Bibić, Z. Rakočević, *Surface plasmon resonance of silver nanoparticles formed in monocrystalline silicon*, Physics Conference in Bosnia and Herzegovina, 25. - 26. October, 2018., Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Book of abstracts, pp. 35.
2. M. Novaković, **A. Modrić-Šahbazović**, E. Schmidt, I. Gazdić, V. Đokić, C. Ronning, N. Bibić, Z. Rakočević, *Formation of silver nanoparticles into silicon with mask-assisted ion implantation process*, 29 Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG 2018), Belgrade, Serbia, Book of abstracts, pp 13.
3. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, I. Gazdić, N. Bibić, Z. Rakočević, *Silicon Nanostructuring by Ag Ions Implantation Through Polystyrene Nanomask*, Electron Microscopy of Nanostructures, (ELMINA 2018), Belgrade, Serbia, Book of abstracts, pp. 81-83.
4. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, N. Bibić, Z. Rakočević, *Low energy Ag ion implantation in monocrystalline silicon*, 16. Young Research Conference, 6. - 8. December, 2017., Belgrade, Serbia, Book of abstracts, pp. 47.
5. **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, I. Gazdić, V. Đokić, Z. Rakočević, *Formation of monolayer polystyrene nanospheres by using different deposition methods*, Rosov pinn 2017., 1. - 2. June, 2017., Belgrade, Serbia, Book of abstracts, pp. 82.

#### 4. CITATI

[A1] A. Modrić-Šahbazović, M. Novaković, M. Popović, E. Schmidt, I. Gazdić, N. Bibić, C. Ronning, Z. Rakočević, *Formation of Ag nanoparticles in Si (100) wafers by single and multiple low energy Ag ions implantation*, Surf. Coat. Technol. **377** (2019) 124913.

Citiran u:

1. R. Li, C. Pang, Z. Li, F. Chen, *Plasmonic Nanoparticles in Dielectrics Synthesized by Ion Beams: Optical Properties and Photonic Applications*, Adv. Optical Mater. (2020) 1902087

[A2] **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, E. Schmidt, I. Gazdić, V. Đokić, D. Peruško, N. Bibić, C. Ronning, Z. Rakočević, *Silicon nanostructuring by Ag ions implantation through nanosphere lithography mask*, Optical Materials 88 (2019) 508-515.

Citiran u:

1. V. Garg, R.G. Mote, J. Fu, *Rapid prototyping of highly ordered subwavelength silicon nanostructures with enhanced light trapping*, Opt. Mater. **94** (2019) 75-85.
2. A.L. Stepanov, V.V. Vorobev, A.M. Rogov, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeev, *Sputtering of silicon surface by silver-ion implantation*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B **457** (2019) 1-3
3. E. Miliutina, A. Olshtrem, V. Burtsev, O. Guselnikova, V. Svorcik, O. Lyutakov, *Advanced colloid lithography for surface functionalization – expanding the current state of the art*, conference paper, NANOCON 2019, 586-590.

[A4] **A. Modrić-Šahbazović**, M. Novaković, V. Đokić, I. Gazdić, N. Bibić, Z. Rakočević, *Formation of a large-area monolayer of polystyrene film via the spin-coating method*, Nuclear Technology & Radiation Protection **33(3)** (2018) 246-251.

Citiran u:

1. Y. Su, X. Yu, Z. Sun, H. Xie, Q. Gao, Y. Yu, *Research Progress of Common Self-assembly Methods for Colloidal Crystal*, Rengong Jingti Xuebao/Journal of Synthetic Crystals (2019) 48(9) 1742-1753

## OCENA IZVEŠTAJA O PROVERI ORIGINALNOSTI DOKTORSKE DISERTACIJE

Na osnovu Pravilnika o postupku provere originalnosti doktorskih disertacija koje se brane na Univerzitetu u Beogradu i nalaza u izveštaju iz programa iThenticate kojim je izvršena provera originalnosti doktorske disertacije „**Strukturna i optička svojstva plazmonske nanočestice srebra dobijenih jonskim bombardovanjem monokristalnog silicijuma**“ autora **Almedine Modrić-Šahbazović**, utvrđeno podudaranje teksta sa drugim izvorima iznosi **11 %**. Ovaj stepen podudarnosti posledica je prethodno publikovanih rezultata istraživanja proisteklih iz disertacije, navedenih citata (referenci), korišćenja naziva metoda i procedura, kao i kratkih fraza i opštih izraza u vezi sa temom disertacije, što je u skladu sa članom 9. ovog pravilnika.

Na osnovu svega iznetog, a u skladu sa članom 8. Stav 2. Pravilnika o postupku provere originalnosti doktorskih disertacija koje se brane na Univerzitetu u Beogradu, izveštaj ukazuje na originalnost doktorske disertacije, što je i mentor dr Mirjana Novaković potvrdila, te se propisani postupak pripreme za njenu odbranu može nastaviti.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog, Komisija zaključuje da rezultati kandidatkinje Almedine Modrić-Šahbazović prikazani u okviru ove doktorske disertacije predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos u oblasti fizike kondenzovane materije, konkretno u oblasti modifikacije čvrstih materijala indukovanih interakcijom sa jonskim snopovima. Iz oblasti disertacije kandidatkinja ima 5 objavljenih radova na kojima je prvi autor od kojih su 2 objavljena u međunarodim časopisima sa impakt faktorom većim od 1. Shodno tome, Komisija pozitivno ocenjuje doktorsku disertaciju kandidatkinje Almedine Modrić-Šahbazović pod naslovom: „**Strukturna i optička svojstva plazmonskih nanočestica srebra dobijenih jonskim bombardovanjem monokristalnog silicijuma**“ i predlaže Nastavno-naučnom veću Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da prihvati i odobri njenu javnu odbranu, čime bi bili ispunjeni svi uslovi da kandidatkinja stekne zvanje doktora fizičkih nauka.

U Beogradu, 16. 06. 2020. godine.

Članovi komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije:

---

dr Mirjana Novaković, viši naučni saradnik  
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu

---

prof. dr Jablan Dojčilović, redovni profesor  
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

---

prof. dr Dušan Popović, vanredni profesor  
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu