

LJILJANA TURKOVIĆ

DEJAN RAKOVIĆ

SONJA KRSTIĆ

# **SAVREMENI MATERIJALI I TEHNOLOGIJE**



GrosKNJIGA

BEOGRAD 1997

dr DEJAN RAKOVIĆ, redovni profesor  
mr LJILJANA TURKOVIĆ, predavač  
mr SONJA KRSTIĆ, predavač

## SAVREMENI MATERIJALI I TEHNOLOGIJE

1. izdanje

Izdavač

GROSKNJIGA  
Beograd, S.J.Vukovića 5

Recenzenti

*dr Predrag Osmokrović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu*  
*dr Dragan Đorđević, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu*  
*mr Zoran Karastojković, predavač Više metalske škole u Novom Beogradu*

Za izdavača

*Milovan Stojadinović*

Urednik

*Miloje Drinjaković*

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

66.017/.018 (075.8)

RAKOVIĆ, Dejan, I.  
Savremeni materijali i tehnologije /  
Dejan Raković, Ljiljana Turković, Sonja Krstić. -  
[1. izd]. - Beograd: Grosknjiga, 1997  
(Beograd: Sprint). - IV, 317 str.: ilustr.; 24 cm

Tiraž 1000. - Bibliografija: str. 317.

**ISBN 86-485-0026-5**

1. Turković, Ljiljana 2. Krstić, Sonja

a) Tehnički materijali  
ID=57733132

## PREDGOVOR

Udžbenik *Savremeni materijali i tehnologije* posvećen je osnovama nauke o materijalima, inženjeringu njihovih svojstava, kao i karakteristikama i primenama materijala u elektrotehnici i mašinstvu, uključujući multidisciplinarnu biomedicinske materijale.

Prezentirani udžbenik je rezultat višegodišnjih predavanja autora iz oblasti elektrotehničkih, mašinskih i biomedicinskih materijala i tehnologija, na Elektrotehničkom fakultetu, Višoj elektrotehničkoj školi i Višoj metalnoj školi iz Beograda. S obzirom na zahtevana kombinovana znanja iz ovih oblasti materijala i tehnologija, to je i ovaj kurs nužno nosio takav pečat, približivši se po karakteru sličnim američkim udžbenicima. Otuda je ovaj udžbenik po mnogo čemu jedinstven u domaćoj stručnoj literaturi iz oblasti materijala i tehnologija.

Udžbenik će znatno olakšati izučavanje materijala i tehnologija studentima fakulteta i viših škola elektrotehničkog, mašinskog i multidisciplinarnog biomedicinskog usmerenja, čemu će doprineti i izvestan broj rešenih zadataka, datih na kraju nekoliko poglavlja, kao dobra ilustracija karakterizacije, selekcije ili inženjeringa svojstava materijala.

[tampanje ovog udžbenika finansijski su pomogli Centar "SOLAR" - Vinča, Laboratorija "GAMA" - Vinča, Domal Inženjering - Beograd i Istraživačko-razvojni Institut DIN - Niš, na čemu im se toplo zahvaljujemo. Toplo se zahvaljujemo i svojim prijateljima iz Više elektrotehničke škole iz Beograda i Više metalske škole iz Novog Beograda na svesrdnoj podršci tokom pripreme udžbenika za štampanje.

Autori se toplo zahvaljuju i recenzentima udžbenika, dr Predragu Osmokroviću, redovnom profesoru, dr Draganu Đorđeviću, vanrednom profesoru i mr Zoranu Karastojkoviću, predavaču.

Takođe smo neobično zahvalni Branku Vukovu na velikom trudu u tehničkoj pripremi udžbenika.

*AUTORI*

# SADRŽAJ

UVOD .....	i
<b>1. STRUKTURA MATERIJALA.....</b>	<b>1</b>
1.1. Hemijske veze .....	1
1.2. Monokristalne strukture .....	4
1.3. Nesavršenosti kristala .....	5
1.4. Polikristalne strukture .....	7
1.5. Nekristalne strukture .....	8
1.6. Pitanja .....	11
1.7. Zadaci .....	11
<b>2. ISPITIVANJE STRUKTURE MATERIJALA .....</b>	<b>14</b>
2.1. Difrakcione metode .....	14
2.2. Mikroskopijske metode .....	17
2.3. Defektoskopske metode .....	20
2.4. Pitanja .....	22
2.5. Zadaci .....	22
<b>3. PODELA ELEKTROTEHNIČKIH MATERIJALA.     INŽENJERING ENERGETSKOG PROCEPA .....</b>	<b>24</b>
3.1. Podela materijala prema veličini energetskog procepa i specifične električne otpornosti .....	25
3.2. Inženjering energetskog procepa: poluprovodnička jedinjenja, legure i nanostrukture .....	28
3.3. Primena materijala prema veličini i vrsti energetskog procepa .....	31
3.4. Pitanja .....	35
3.5. Zadaci .....	35
<b>4. POLUPROVODNICI.....</b>	<b>38</b>
4.1. Princip provođenja električne struje .....	38
4.2. Uporedne karakteristike silicijuma, germanijuma i galijum-arsenida .....	41
4.3. Ostali važniji poluprovodnički elementi, jedinjenja, legure i nanostrukture .....	43
4.4. Metode dobijanja masivnih i tankoslojnih monokristala .....	45
4.5. Poluprovodnička mikroelektronika: stanje i perspektive .....	49
4.6. Pitanja .....	76
4.7. Zadaci .....	77
<b>5. PROVODNICI .....</b>	<b>88</b>
5.1. Provodna svojstva .....	88
5.2. Metali velike provodnosti .....	90
5.3. Otporni materijali. Grejači i otpornici .....	92
5.4. Specijalni provodni materijali. Termoparovi, lemovi, osigurači, kontakti i elektrohemijski izvori .....	100
5.5. Pitanja .....	105
5.6. Zadaci .....	106

<b>6.</b>	<b>SUPERPROVODNICI.....</b>	<b>109</b>
6.1.	Fizička svojstva superprovodnika .....	109
6.2.	Superprovodni materijali .....	111
6.3.	Superprovodne žice i kablovi .....	113
6.4.	Džozefsonovi spojevi.....	115
6.5.	Pitanja.....	117
6.6.	Zadaci.....	118
<b>7.</b>	<b>DIELEKTRICI .....</b>	<b>120</b>
7.1.	Električna polarizacija .....	121
7.2.	Izolacioni materijali. Kablovi .....	125
7.3.	Kondenzatorski materijali. Kondenzatori .....	134
7.4.	Specijalni dielektrični materijali. Pretvarači, displeji i memorije .....	141
7.5.	Pitanja.....	146
7.6.	Zadaci.....	147
<b>8.</b>	<b>MAGNETICI .....</b>	<b>150</b>
8.1.	Magnetno uređenje .....	152
8.2.	Magnetno meki materijali. Kalemovi, transformatori i relea .....	155
8.3.	Magnetno tvrdi materijali. Magneti i memorije .....	162
8.4.	Pitanja.....	166
8.5.	Zadaci.....	167
<b>9.</b>	<b>ISPITIVANJE ELEKTROTEHNIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA.....</b>	<b>177</b>
9.1.	Određivanje energetskog procesa.....	177
9.2.	Određivanje transportnih karakteristika .....	179
9.3.	Određivanje dielektričnih karakteristika .....	184
9.4.	Određivanje magnetnih karakteristika .....	186
9.5.	Pitanja.....	190
9.6.	Zadaci.....	190
<b>10.</b>	<b>ISPITIVANJE MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA.....</b>	<b>201</b>
10.1.	Ispitivanje zatezanjem.....	202
10.2.	Ispitivanje tvrdoće.....	208
10.3.	Ispitivanje puzanjem.....	210
10.4.	Ispitivanje žilavosti.....	212
10.5.	Ispitivanje zamaranjem .....	214
10.5.	Pitanja.....	216
10.6.	Zadaci.....	216
<b>11.</b>	<b>INŽENJERING MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA .....</b>	<b>221</b>
11.1.	Ojačavanje metala hladnom deformacijom .....	222
11.2.	Žarenje hladno deformisanih metala .....	225
11.3.	Deformacija metala na toplo.....	227
11.4.	Ojačavanje polikristalnih metala granicom metalnih zrna .....	228
11.5.	Ojačavanje metalnih legura čvrstim rastvorom .....	233
11.6.	Disperziono ojačavanje metalnih legura faznim transformacijama .....	237
11.7.	Inženjering mehaničkih karakteristika keramika.....	247
11.8.	Inženjering mehaničkih karakteristika polimera .....	249
11.9.	Inženjering mehaničkih karakteristika kompozita.....	252
11.10.	Korozija i zaštita materijala .....	252
11.11.	Pitanja.....	254
11.12.	Zadaci.....	255

<b>12. MAŠINSKI MATERIJALI.....</b>	<b>267</b>
12.1. Livena gvožđa.....	267
12.2. Čelici.....	269
12.3. Obojene metalne legure.....	277
12.4. Keramike.....	279
12.5. Polimeri.....	279
12.6. Kompoziti.....	280
12.7. Uporedne karakteristike mašinskih materijala.....	281
12.8. Pomoćni materijali. Maziva, zaptivke i termoizolacija.....	283
12.9. Pitanja.....	286
<b>13. NERAZDVOJIVO SPAJANJE MATERIJALIMA.....</b>	<b>287</b>
13.1. Zavarivanje.....	288
13.2. Lemljenje.....	294
13.3. Lepljenje.....	296
13.4. Zatapanje.....	297
13.5. Kitovanje.....	298
13.6. Pitanja.....	298
<b>14. BIOMEDICINSKI MATERIJALI.....</b>	<b>299</b>
14.1. Klasifikacija i primena biomaterijala.....	299
14.2. Pitanja.....	302
<b>DODACI.....</b>	<b>303</b>
Tablica D.1.....	
Tablica D.2.....	
Tablica D.3.....	
Tablica D.4.....	
Tablica D.5.....	
Tablica D.6.....	
Tablica D.7.....	
Tablica D.8.....	
Tablica D.9.....	
Tablica D.10.....	
Tablica D.11.....	
Tablica D.12.....	
Tablica D.13.....	
Tablica D.14.....	
Tablica D.15.....	
Tablica D.16.....	
Tablica D.17.....	
Tablica D.18.....	
<b>LITERATURA.....</b>	<b>312</b>