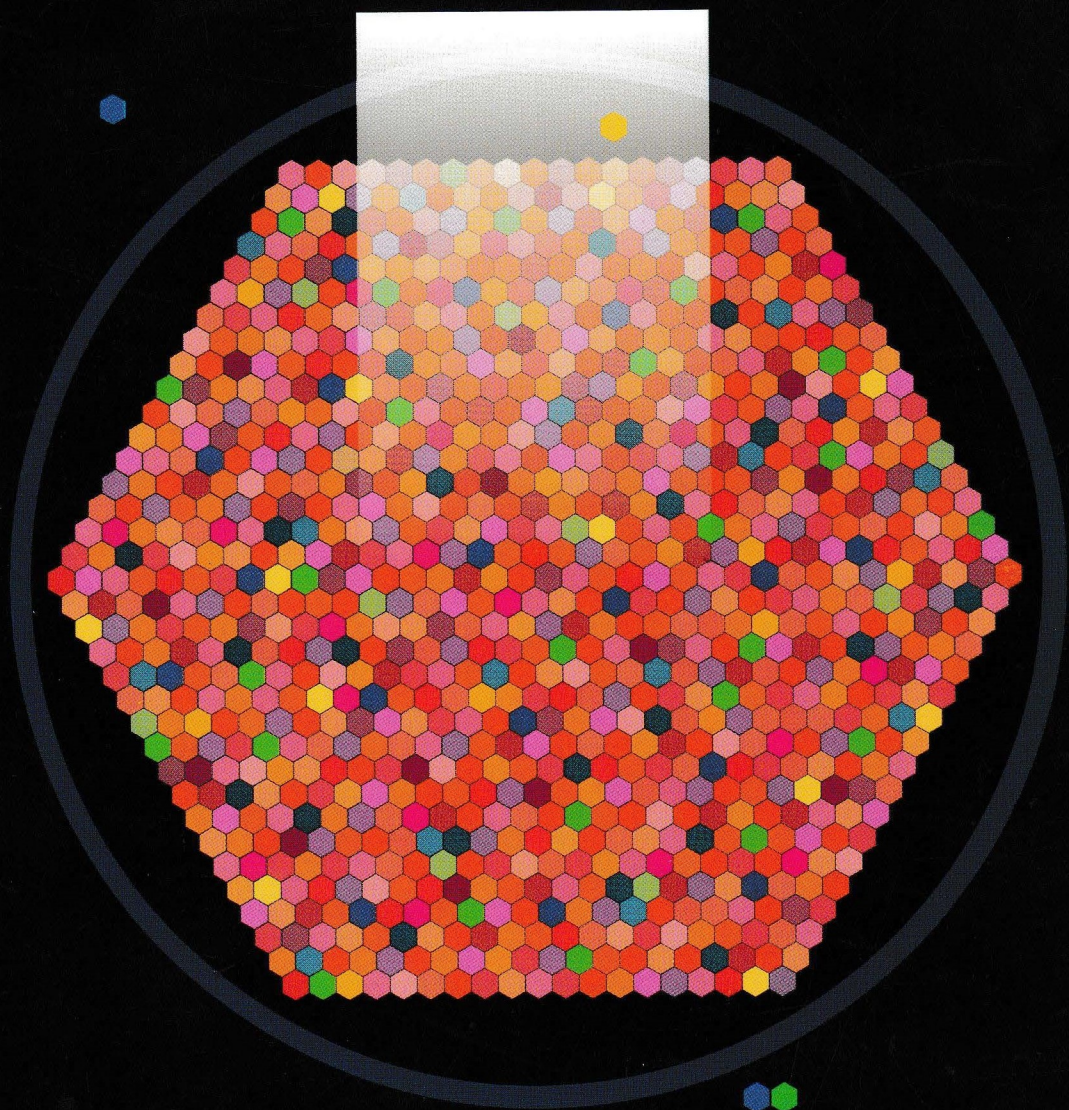


Dr Nenad Pavlović

MIKROMEHANIKA



MAŠINSKI FAKULTET

Niš, 1998.

Dr Nenad Pavlović

M I K R O M E H A N I K A

MAŠINSKI FAKULTET

NIŠ, 1998.

Dr Nenad Pavlović

MIKROMEHANIKA

Recenzenti

Prof. dr Života Živković

Prof. dr Nebojša Janković

Izdavač

Mašinski fakultet

Univerziteta u Nišu

Niš, Beogradska 14

Štampanje odobrilo

Nastavno naučno veće

Mašinskog fakulteta u Nišu

13.10.1998.

Štampa

“SD Press”, Smederevo

Tiraž 50 primeraka

CIP - Каталогизација у публикацији

Народна библиотека Србије, Београд

538.9(075.8)

ПАВЛОВИЋ, Ненад

Mikromehanika / Nenad Pavlović. - Niš :
Mašinski fakultet Univerziteta, 1998 (Smederevo :
SD Press). - V, 157 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 50. - Bibliografija: str. 157 str.

ISBN 86-80587-18-4

62-181.4(075.8) 681-181.4(075.8)

a) Микромеханика

ID=69836812

P R E D G O V O R

Mikromehanika je disciplina koja se bavi razvojem, izradom i primenom trodimenzionalnih mikroelemenata i sistema čije su dimenzije tako male da ih nije moguće izraditi tehnologijama precizne mehanike. Izradjuju se tehnološkim postupcima mikroelektronike, a za potrebe mehanike, optike, pneumatike i drugih oblasti tehnike. Stara je tek dvadesetak godina i nalazi se još uvek u razvojnoj fazi, na pragu široke industrijske primene. Zajednička tehnološka osnova mikromehanike i mikroelektronike omogućava i monolitnu integraciju mehaničkih, optičkih i elektronskih funkcija u kompleksne mikrosisteme što je dovelo do razvoja nove discipline nazvane tehnika mikrosistema.

Razvojem i izradom mikromehaničkih elemenata bave se svetski poznate multinacionalne kompanije, ali i firme srednje veličine. Sve ove firme imaju za saradnike inženjere sa širokim pregledom mogućnosti koje pruža mikromehanika. I mada burni razvoj mikromehanike uslovljava da svaki tekst iz ove oblasti mora vrlo brzo da zastari, neophodno je olakšati zainteresovanim upoznavanje sa ovim, za nas novim tehnološkim mogućnostima. Kako slične literature, po saznanju autora, na srpskom jeziku nema, ova publikacija treba da popuni tu prazninu i da uvede zainteresovane čitaoce u tehnološke osnove i primene mikromehanike. Knjiga daje pregled aktuelne slike stanja u ovoj oblasti.

Premda ova materija zahteva multidisciplinarni pristup i poznavanje više različitih disciplina (fizičke hemije, fizike čvrstog stanja, mehanike, elektronike i drugih), moralo se, zbog ograničenog obima ove publikacije, izbeći suviše detaljisanje i ograničiti samo na prezentiranje osnovnih principa tehnologija i struktura. Izložena materija ilustrovana je brojnim crtežima, pre svega shematskim prikazima toka različitih procesa mikromehaničke tehnologije, i fotografijama praktičnih rezultata i mikromehaničkih struktura, preuzetim iz navedene literature.

Knjiga je pisana prvenstveno kao udžbenik namenjen studentima na redovnim i poslediplomskim studijama smeru Preciznog mašinstva na Mašinskom fakultetu u Nišu. Iskreno se, međutim, nadam da će ova publikacija, s obzirom na značaj i savremenost problematike koju obradjuje, moći korisno da posluži i studentima drugih fakulteta kao i svima onima koji će se u praksi ili istraživanjima, posredno ili neposredno, sretati s mikromehaničkim komponentama i sistemima.

Najtoplije se zahvaljujem recenzentima dr Životi Živkoviću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Nišu i dr Nebojši Jankoviću, vanrednom profesoru Elektronskog fakulteta u Nišu, na korisnim savetima i sugestijama.

Zahvaljujem se i mr Nenadu T. Pavloviću i mr Milošu Miloševiću na uloženom trudu pri tehničkoj obradi crteža.

Iskreno se zahvaljujem i sponzorima koji su finansijski pomogli izdavanje ove knjige.

Niš, oktobra 1998.

A u t o r

S A D R Ź A J

1. ZADACI MIKROMECHANIKE	1
2. FIZIČKE OSNOVE MIKROMECHANIKE	5
2.1. Struktura poluprovodnika	5
2.2. Karakteristike materijalâ u mikromehanici	7
2.2.1. Mehanička čvrstoća i termičke osobine silicijuma	8
2.2.2. Fizičke karakteristike kvarca	9
2.3. Fizički efekti za transformaciju signala	9
2.3.1. Transformacija mehaničkih veličina	9
2.3.2. Transformacija termičkih veličina	11
3. TEHNOLOGIJA MIKROMECHANIKE	13
3.1. Si-tehnologija kao zajednička osnova mikroelektronike i mikromehanike	13
3.2. Litografski postupci	17
3.2.1. Izrada maske i postupci osvetljavanja	17
3.2.2. Röntgenska litografija	20
3.3. Postupci izrade tankih slojeva	22
3.3.1. PVD-procesi	23
3.3.2. CVD-procesi	26
3.3.3. Galvansko i taloženje bez spoljašnjeg izvora struje	29
3.3.4. Postupak razmazivanja (<i>Spin-on</i>)	30
3.3.5. <i>Langmuir-Blodgett</i> -postupak	30
3.3.6. Termička oksidacija	31
3.3.7. Implantacija jona	32
3.4. Postupak nagrivanja	33
3.4.1. Anizotropni postupak mokrog hemijskog nagrivanja	34
3.4.1.1. Zavisnost brzine nagrivanja od vrste rastvora, pravca kristala i temperature	34
3.4.1.2. Zavisnost brzine nagrivanja silicijuma od dopiranja	37
3.4.1.3. Elektrohemijski postupak nagrivanja	37
3.4.1.4. Anizotropija	38
3.4.1.5. Anizotropni postupci nagrivanja kvarca i poluprovodničkih jedinjenja	39

3.4.2. Postupak nagrizanja uz pomoć plazme	40
3.4.3. Postupak nagrizanja tragom čestica	41
3.5. Tehnološki procesi obrade laserom u mikromehanici	43
3.5.1. Fizičke osnove obrade laserom	43
3.5.2. Tehnološke operacije obrade laserom u mikromehanici	45
3.6. LIGA- i SLIGA-postupak	50
3.7. Postupci spajanja i montaže	55
3.7.1. Postupci spajanja	55
3.7.2. Postupci montaže	58
3.7.3. Kućišta mikromehaničkih elemenata	61
4. PRIMENA MIKROMECHANIKE	62
4.1. Osnovne strukture i elementi zapreminske mikromehanike	62
4.1.1. Žlebovi	62
4.1.2. Udubljenja i ispupčenja	64
4.1.3. Membrane	67
4.1.4. Jezičci	68
4.1.5. Mostovi	71
4.1.6. Strukture složenog oblika	72
4.2. Primeri primene mikromehaničkih elemenata	74
4.2.1. Senzorika	74
4.2.1.1. Senzori pritiska	74
4.2.1.2. Senzori ubrzanja i vibracija	83
4.2.1.3. Senzori sile	92
4.2.1.4. Senzori brzine strujanja i protoka	96
4.2.1.5. Senzori toplotnog zračenja	101
4.2.1.6. Senzori za analizu gasova	104
4.2.1.7. Minijaturni kvarcni rezonatori kao senzori s frekvencijski modulisanim izlazom	108
4.2.2. Aktuatori	113
4.2.2.1. Mikromehanički prekidači	113
4.2.2.2. Modulatori svetlosti i elementi optičkih prikazivača (displeja)	119
4.2.2.3. Mikromehanički ventili i pumpe	124
4.2.2.4. Elementi za mikropozicioniranje	126
4.2.2.5. Mikromotori	127

4.2.3. Minijturni hvatači za mikromontažu	130
4.2.3.1. Zahtevi mikromontaže	130
4.2.3.2. Minijturni hvatači	130
4.2.3.3. Razvoj jednog minijturnog hvatača	134
4.2.3.4. Razvoj jednog mikromehaničkog hvatača	136
4.2.3.5. Elastične ramovske strukture kao mehanizam minihvatača	139
4.2.4. Ostale oblasti primene	141
4.2.4.1. Sistemi za analizu	142
4.2.4.2. Mlaznice <i>Ink-Jet</i> -štampana	146
4.2.4.3. Glave termoštampana	150
5. MONOLITNA INTEGRACIJA MIKROMECHANIČKIH, MIKROELEKTRONSKIH I OPTIČKIH KOMPONENTATA	153
LITERATURA	157



Dr Nenad D. Pavlović rođen je 2. marta 1950. godine u Valjevu. Osnovnu i srednju školu završio je u Nišu.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu diplomirao je 1973. godine na smeru Mašinske konstrukcije. Magistarsku tezu odbranio je 1979. godine, a 1984. godine odbranio je doktorsku disertaciju.

Od 1974. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao saradnik u zvanju asistent pripravnik i od 1979. godine u zvanju asistent na predmetu Teorija mašina mašina i mehanizama. Od 1985. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao nastavnik u zvanju docent, od 1990. godine u zvanju vanredni profesor i od 1995. godine u zvanju redovni profesor na grupi predmeta Precizno mašinstvo.

Govori engleski i nemački jezik.

Autor je nekoliko udžbenika iz oblasti Preciznog mašinstva i Teorije mašina i mehanizama.

Autor je ili koautor većeg broja naučnih radova publikovanih u časopisima i zbornicima radova konferencija iz oblasti Teorije mašina i mehanizama, Opruga kao pogonskih elemenata i Gipkih mehanizama.