

Nova metoda: Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Milica Kisić, Ljiljana Živanov, Mirjana Damjanović,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad, Srbija;

Aleksandar Menićanin

Institut za multidisciplinarna istraživanja (IMSI), Beograd

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR-32016

Godina: 2017.

Primena: decembar 2017.

Kratak opis

U ovom tehničkom rešenju prikazana je metoda za brzu i ekonomičnu izradu kapacitivnog senzora pomeraja. Opisana je detaljna realizacija metode za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji. Za izradu osnove senzora pomeraja korišćena je tehnologija 3D štampe na principu topljenja neprekidnog termoplastičnog materijala. Ovim postupkom izrađeno je kućište za donji deo senzora, odstojnik između donjeg i gornjeg dela senzora i kućište za gornji deo senzora. Na donji deo senzora naneta je elektroda postupkom sito štampe. Drugi deo gornjeg dela senzora je izrađen u ink-džet tehnologiji, štampanjem elektrode kondenzatora srebrnim nano čestičnim mastilom na poliimindnoj foliji. Određivanje karakteristika senzora izrađenog ovom metodom urađeno je merenjem kapacitivnosti senzora pri pomeranju gornje elektrode (polimidne membrane) pomoću manuelnog mikro pozicionera u koracima od po 100 μm . Ukupno testirano rastojanje pomeraja iznosilo je 1 mm i utvrđeno je da za to rastojanje ukupna promena kapacitivnosti senzora reda 2,68 pF.

Tehničke karakteristike:

Izrada kapacitivnog senzora pomeraja u aditivnoj 3D tehnologiji za detektovanje linearnog pomeranja u ravni reda 100 μm .

Tehničke mogućnosti:

Opisano tehničko rešenje omogućava kvalitetnu, brzu i ekonomičnu izradu kapacitivnih senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji.

Realizatori:

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Institut za multidisciplinarna istraživanja (IMSI), Beograd

Korisnici:

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Podtip rešenja:

M85 Nova metoda

Uvod

Aditivna tehnologija, koja se često naziva i 3D štampanje, predstavlja tehnologiju u kojoj je moguće realizovati 3D objekat direktno iz sirovog materijala. 3D štampa omogućuje brzu i ekonomičnu izradu kompleksnih 3D objekata što je čini odličnom tehnologijom za izradu prototipova različitih vrsta senzora.

U literaturi se mogu pronaći različiti pristupi za realizaciju kapacitivnog senzora pomeraja. Senzor raspanja zasnovan na interdigitalnom kondenzatoru predstavljen je u [1]. U ovom radu

[1] Hongxiang Yu, Lifeng Zhang, Mengfeng Shen, "Novel capacitive displacement sensor based on interlocking stator electrodes with sequential commutating excitation," Sensors and Actuators A: Physical, Volume 230, 1 July 2015, pp. 94-101

autori su postigli dobru osetljivost u detekciji pomeraja u širokom rasponu vazdušnog procepa za kapacitivni senzor pomeranja koji je realizovan u tehnologiji štampanih kola (PCB). U radovima [2-5] autori su predstavili različite senzore sa odličnim performansama za beskontakta merenja, visoke rezolucije, malih veličina ispitnih sondi i sl. Takođe je predstavljeno da kapacitivni senzori imaju važnu ulogu u oblastima preciznog inženjerstva i nano tehnologija. Iz pomenutih radova se može videti da se ulažu napor na novim dizajnim sensorima sa akcentom na bežična očitavanja, na magnetskim materijalima i smanjenju dimenzija senzora.

Bežični kapacitivni senzor pomeraja prikazan je u [6]. Ovaj senzor je dizajniran za upotrebu u ograničenim prostorima i ima nanometarsku rezoluciju. To je aktivni bežični senzor izrađen od mesinga i drugih nemagnetnih materijala i koristi bežični prenos signala i komunikaciju sa malom snagom.

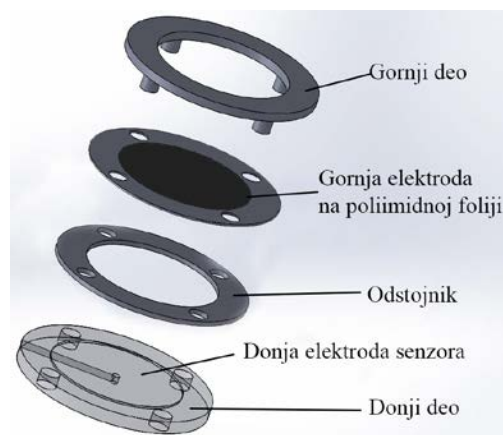
U [7] predloženi su fleksibilni kapacitivni taktilni senzor. U ovom radu su autori prezentovali senzore koji su ocenjeni kao dobri senzori pritiska i kao taktilni senzori za dve različite kombinacije elektroda i veličine procepa, dajući visoku osetljivost.

Ovo tehničko rešenje pokazuje mogućnost da se novi senzor pomeraja realizuje u kratkom vremenskom periodu i na veoma ekonomičan način.

Osnovni model i fabrikacija senzora

Kapacitivni senzor pomeraja je proizveden u aditivnoj tehnologiji korišćenjem principa topljenja neprekidnog termoplastičnog materijala (*Fused filament fabrication* - FFF). U [10] prikazana je metoda u kojem je korišćena metoda 3D FFF štampe za stvaranje složenih mikrostruktura. Ovi objekti su proizvedeni bez ikakvih dodatnih žrtvenih materijala već samo preciznim podešavanjem parametara grejanja i brzine hoda mlaznice.

Ova metoda prikazuje novi pristup pri izradi kapacitivnog senzora pomeraja kombinovanjem 3D tehnologije štampe i ink-džet štampe.



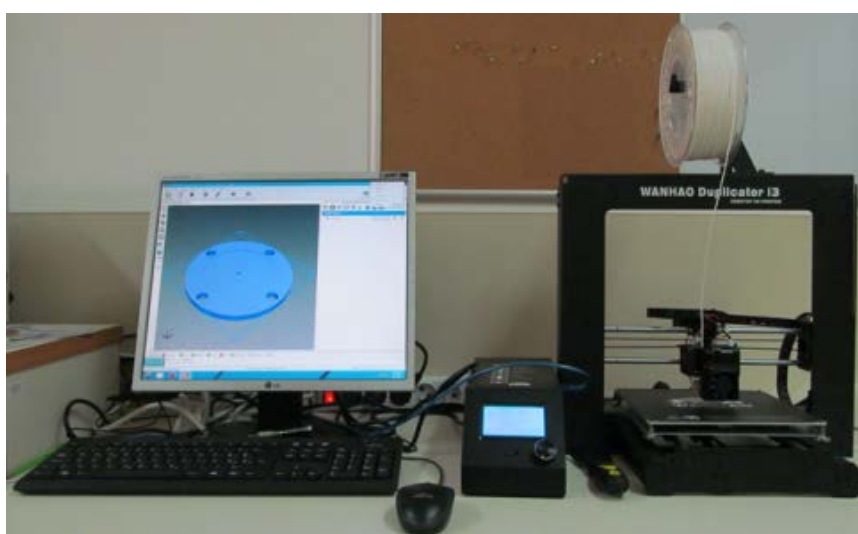
Slika 1. Razdvojeni prikaz 3D model kapacitivnog senzora pomeraja

- [2] L.-N. Sun, Z.-G. Yan, "Design of capacitance micro-displacement sensor and its application," *Journal of Transducer Technology* 24, pp. 13-15 (2005).
- [3] J.B. Tan, J.N. Cui, "Ultraprecision 3D probing system based on spherical capacitive plate," *Sensors and Actuators A* 159, pp. 1-6 (2010).
- [4] M. Kim, W. Moon, E. Yoon, K.-R. Lee, "A new capacitive displacement sensor with high accuracy and longrange," *Sensors and Actuators A*, pp. 130-131, 135-141 (2006).
- [5] S. Nihtianov, "Measuring in the subnanometer range: capacitive and Eddy current nanodisplacement sensors", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Vol. 8(1), pp. 6-15 (2014).
- [6] Junning Cui; Zhangqiang He; Tao Sun ; Xingyuan Bian ; Lu Han; Research and development of novel wireless digital capacitive displacement sensor. *Proc. SPIE 9446, Ninth International Symposium on Precision Engineering Measurement and Instrumentation*, 944659 (March 6, 2015);
- [7] Anastasios Petropoulos, Grigoris Kaltsas, Dimitrios Goustouridis, Evangelos Gogolides, "A flexible capacitive device for pressure and tactile sensing", *Procedia Chemistry*, Volume 1, Issue 1, 2009, pp. 867-870.
- [8] Mangirdas Malinauskas, Sima Rekšytė, Laurynas Lukoševičius, Simas Butkus, Evaldas Balčiūnas, Milda Pečiukaiytė, Daiva Baltriukienė, Virginija Bukelskienė, Arūnas Butkevičius, Povilas Kucevičius, Vygasdas Rutkūnas and Saulius Juodkasis, "3D Microporous Scaffolds Manufactured via Combination of Fused Filament Fabrication and Direct Laser Writing Ablation," *Micromachines* 2014, 5(12), pp839-858.

Senzor se sastoji od dve elektrode (od kojih je jedna na fleksibilnoj podlozi) i odstoynika koji obezbeđuje vazdušni procep između elektroda. 3D model kapacitivnog senzora pomeraja je predstavljen Slici 1.

Pomeraj je moguće detektovati prilikom savijanja fleksibilne membrane savijanja (gornja elektroda na poliimidnoj foliji) i približavanjem gornje elektrode donjoj elektrodi što ima za posledicu promenu kapacitivnosti senzora.

3D štampanje je proces u kome se iz velikog namotaja termoplastične žice, preko pokretne glave ekstrudera štampača nanose slojevi rastopljenog termoplastičnog materijala. Glava se kreće u dve dimenzije kako bi se odjednom nanese sloj istopljenog termoplastičnog materijala u jednoj ravni pre nego što se glava pomeri nagore i započne proces štampanja u novoj ravni. Postoji širok izbor materijala koji je moguće ekstrudirati, uključujući termoplastike kao što su akrilonitril butadien stiro (ABS), polilaktička kiselina (PLA), polistiren visoke otpornosti (HIPS), termoplastični poliuretan (TPU), alifatski poliamidi (najlon), polietilentereftalat (PET) i dr.



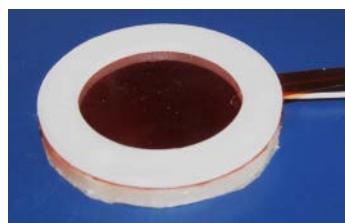
a)



b)



c)



d)

Slika 2. 3D štampač i senzor: a) postavka za 3D štampanje, b) kućište proizvedeno uz pomoć 3D štampača, c) fleksibilna elektroda i d) sastavljeni senzor.

Za potrebe izrade ovog senzora polietilenska kiselina (PLA) je izabrana kao materijal za štampanje. Da bi se postigle precizne strukturne dimenzije korišćene su sledeće postavke za 3D štampanje: visina sloja - 100 μm , temperatura mlaznice - 210 $^{\circ}\text{C}$ i temperatura podloge - 60 $^{\circ}\text{C}$.

Prilikom izrade prototipa ovog kapacitivnog senzora pomeraja primenom u 3D štampi izrađeno je kućište za donji deo senzora, odstojnik između donjeg i gornjeg dela senzora i kućište za gornji deo senzora. Za potrebe 3D štampe korišćen je štampač Wanhao Duplicator i3, Slika 2. a). Na donjem delu senzora je takođe realizovan mikro kanal u koji je ubačena kontaktna žica koja je povezana preko vie na donju elektrodu. Kako bi se svi delovi senzora sklopili u kompaktnu celinu, donji i središnji deo senzora imaju četiri rupe po obimu, a gornji deo pinove za pozicioniranje i fiksiranje (Slika 2. b).

Kao materijal za izradu elektrode na donjem delu senzora korišćena je srebrna pasta CircuitWorks® Conductive Epoxy CW 2400. Posle nanošenja srebrne paste, proces sušenja se odvijao na 70 $^{\circ}\text{C}$ u trajanju od 15 minuta kako bi se povećala provodljivost elektroda.

Gornja elektroda (između odstojnika i gornjeg dela) je izrađena u ink-džet tehnologiji. Elektroda je štampana srebrnim nano čestičnim mastilom Metalon JS-B25P na poliimidnoj foliji (debljine 125 μm) ink-džet štampačem (Epson C88 +), Slika 2.c. Osim elektrode, na istoj fleksibilnoj podlozi odštampana je, sa istim srebrnim mastilom, provodna linija od gornje elektrode kondenzatora kako bi se ostvario izvod za merni instrument.

Na Slici 2. d) prikazan je kompletno sklopljen senzor. Dimenzije potpuno sklopljenog senzora su: prečnik 40 mm i visina 5 mm.

Eksperimentalna karakterizacija i rezultati merenja

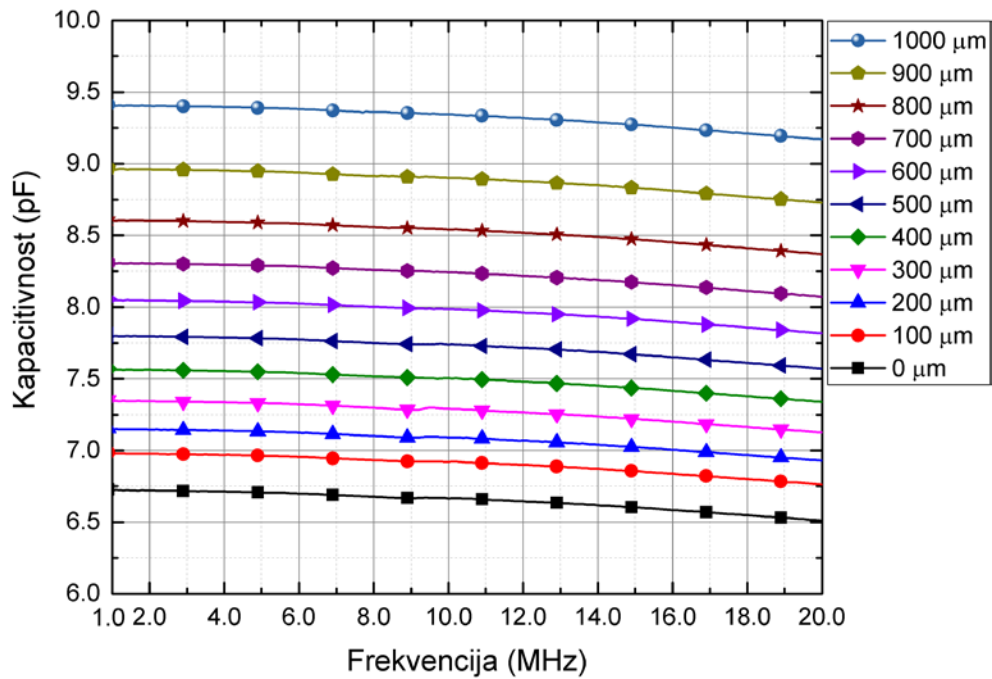
Eksperimentalni rezultati su dobijeni merenjem kapacitivnosti senzora pomeraja pomoću impedansnog analizatora HP4194A i programskog alata za skladištenje rezultata merenja.

Sklopljeni senzor je bio pričvršćen na vertikalnom držaču koji je postavljen normalno na ravan pomeranja dok su kontakti izvodi senzora priključeni na merni instrument. Za precizno pomeranje poliimidne membrane korišćen je jednoosni manuelni mikro pozicioner. Na Slici 3. prikazana je merna postavka za karakterizaciju novog prototipa kapacitivnog senzora pomeraja izrađenog u 3D aditivnoj tehnologiji.

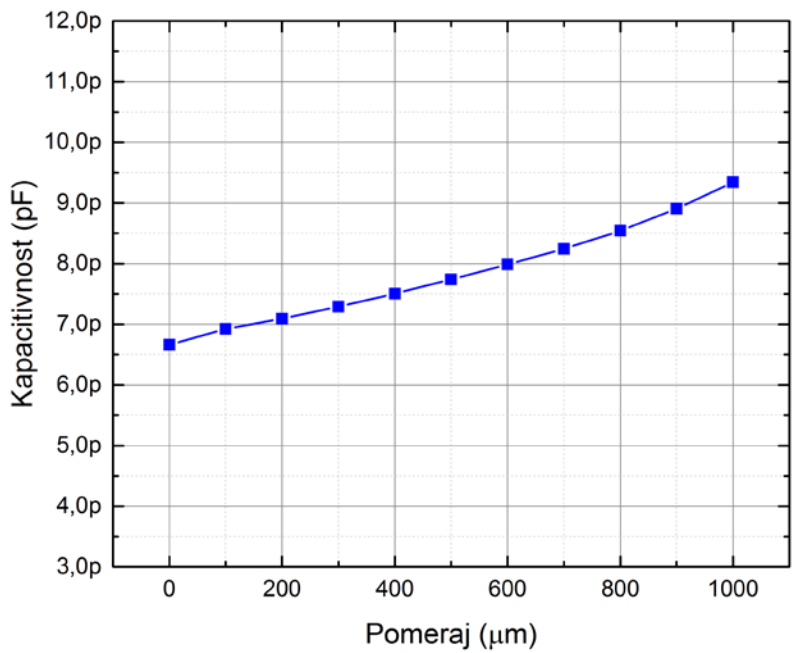


Slika 3. Merna postavka za karakterizaciju novog prototipa kapacitivnog senzora pomeraja izrađenog u 3D aditivnoj tehnologiji.

Kapacitivnost za svaki korak pomeraja je meren u frekventnom opsegu od 1 MHz do 20 MHz. Usled činjenice da je za ovaj dizajn senzora prostor između elektroda bio 1 mm, postupak merenja je izveden u deset koraka pomeranja od 100 μm . Dobijeni rezultati merenja, u ranije pomenutom frekventnom opsegu, prikazani su na Slici 4.



Slika 4. Kapacitivnost proizvedenog senzora u odnosu na frekvenciju za različite korake pomeranja.



Slika 5. . Dobijena karakteristika za senzor pomeraja na frekvenciji od 10MHz.

Na Slici 5. prikazana je zavisnost promene kapacitivnosti senzora od pomeraja reda 100 μm . Ukupno testirano rastojanje pomeraja iznosilo je 1 mm i utvrđeno je da za to rastojanje ukupna promena kapacitivnosti senzora reda 2,68 pF.

Mogućnosti predstavljenog tehničkog rešenja

U ovom tehničkom rešenju predstavljena je metoda za izradu kapacitivnog senzora koji je realizovan korišćenjem integracije 3D aditivne tehnologije i ink- ink-džet štampanja. Predloženi senzorski prototip sastoji se od fiksne donje elektrode, odstojnika, gornje (pokretne) elektrode na fleksibilnoj podlozi i gornjeg dela sa držačima. Nakon izvršene analize dobijenih rezultata merenja došlo se do sledećih zaključaka: primenom 3D aditivne tehnologije moguće je brzo i ekonomično realizovati noseće strukture senzora ali takođe i strukture na koje se mogu nanositi elektrode postupkom sito štampe. Sa realizovanim senzorom moguće je razlikovati male pomeraje (reda 100 μm) direktnim merenjem kapacitivnosti senzora, dobijena karakteristika senzora je približno linearna. Pomoću dobijene karakteristike senzora nepoznati pomeraji se mogu odrediti merenjem kapacitivnosti u obrnutom procesu.

Budući rad će obuhvatiti razvoj teorijskog modela kako bi se predvidelo ponašanje senzora sa varijacijama geometrijskih i električnih parametara. Pored toga, istraživanje ovog prototipa senzora takođe će uključiti modifikaciju senzora kako bi se povećala rezolucija senzora i / ili povećao opseg detekcije pomeranja senzora s minijaturizacijom dimenzije senzora.

Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji je razvijena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu u okviru tekućeg tehnološkog projekta br. TR-32016 kod Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Štampano –2017.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централa: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2017-12-14

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 48. редовној седници одржаној дана 13.12.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 20.1.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензента

Тачка 20.1.2.: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Др Будимир Ђурађ, гостујући професор, Електротехнички факултет у Београду, (reader, University Westminster, London, UK)
2. Др Здравко Станимировић, научни сарадник, Институт за електронику и телекомуникације; ИРИТЕЛ Београд

Назив техничког решења:

“МЕТОДА ЗА ИЗРАДУ СЕНЗОРА ПОМЕРАЈА У 3Д АДИТИВНОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ”

Аутори техничког решења: Нелу Блаж, Милица Кисић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

30 Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Проф. др Раде Дорословачки

RECENZIJA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Nova metoda:

Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji

Broj projekta: TR 32016

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Milica Kisić, Ljiljana Živanov, Mirjana Damnjanović,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad, Srbija;
Aleksandar Menićanin
Institut za multidisciplinarna istraživanja (IMSI), Beograd

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 32016

Godina: 2017

Primena: 01.12.2017.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Podtip rešenja: M 85 – Nova metoda.

Obrazloženje

U ovom tehničkom rešenju je prikazana je nova metoda za realizaciju senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji. Novina se ogleda u prvom prototipu ovakve vrste senzora koji je u potpunosti izrađen u u 3D aditivnoj tehnologiji. Izrada senzora u ovoj tehnologiji ima prednosti u vidu brze izrade prototipa i niske cene proizvodnje. Senzor se sastoji od dve elektrode, od kojih je jedna na fleksibilnoj podlozi a druga je nanosena na osnovu izrađenu pomoću 3D štampe, i odstojnika koji obezbeđuje vazdušni procep između elektroda. Autori su priložili i parametre neophodne za izradu prototipa pomoću 3D štampača.

Prototip kapacitivnog senzora pomeraja izrađen u 3D aditivnoj tehnologiji je okarakterisan pomoću analizatora impedanse HP4194A. Postupak karakterizacije je sproveden tako što su autori jednoosnim manuelnim mikro pozicionerom pomerili fleksibilnu membranu senzora u koracima od po 100 µm i pritom merili promenu kapacitivnosti senzora.

Pomoću prethodno spomenutog analizatora izmerili su induktivnost senzora u frekvencijskom opsegu (1 MHz – 20MHz). Iz dobijenih mernih rezultata određena je karakteristika senzora na sredini merenog frekvencijskog opsega odnosno na 10 MHz.

Autori su u ovom tehničkom rešenju prikazali da je primenom 3D aditivne tehnologije moguće brzo i ekonomično realizovati noseće strukture senzora ali takođe i strukture na koje se mogu nanositi elektrode postupkom sito štampe.

Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji je razvijena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. TR32016 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

**U Beogradu,
20.12.2017.**

Recenzent:

Zdravko Stanimirović

Dr Zdravko Stanimirović, naučni saradnik,
Institut za elektroniku i telekomunikacije
IRITEL a.d. Beograd

RECENZIJIA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Nova metoda:

Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji

Broj projekta: TR 32016

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Milica Kisić, Ljiljana Živanov, Mirjana Damnjanović,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad, Srbija;
Aleksandar Meničanin
Institut za multidisciplinarna istraživanja (IMSI), Beograd

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 32016

Godina: 2017

Primena: 01.12.2017.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Podtip rešenja: M 85 – Nova metoda.

Obrazloženje

U ovom tehničkom rešenju dat je prikaz metode izrade senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji. Ovom metodom izrađeno je kućište za donji deo senzora, odstojnik između donjeg i gornjeg dela senzora i kućište za gornji deo senzora. Na donji deo senzora naneta je elektroda postupkom sito štampe dok je na gornji deo senzora postavljena poliimidna membrana na kojoj je nanescna srebrna elektroda postupkom ink-jet štampe.

Ovo tehničko rešenje ima za cilj prikaz mogućnosti da se novi senzor pomeraja realizuje u kratkom vremenskom period i to na veoma ekonomičan način.

Autori su za demonstraciju ove metode koristili 3D štampač i polietilensku kiselinu (PLA) kao materijal za štampanje osnove kućišta senzora. Da bi dobili zadovoljavajuće rezultate autori su primenili sledeće parametre za potrebe 3D štampanja: visina sloja - 100 µm, temperatura mlaznice - 210 °C i temperatura podloge - 60 °C. Pomoću ovih parametra autori su dobili senzorsku strukturu koja je dokumentovana odgovarajući fotografijama u okviru tehničkog rešenja.

Provera funkcionalnosti senzora kao i određivanje karakteristike senzora je takođe priloženo u okviru tehničkog rešenja. Sklopljeni senzor je postavljen na vertikalni držač na koji po pravim uglom delovano ispitnim šiljkom. Za precizno pomeranje poliimidne membrane ispitnim šiljkom korišćen je jednoosni manuelni mikro pozicioner.

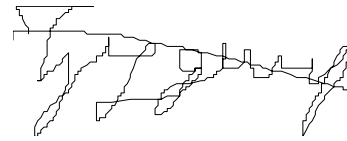
Dobijenim rezultatima autori su potvrdili da je u 3D aditivnoj tehnologiji moguće brzo i ekonomično realizovati senzor pomeraja kojim je moguće detektovati pomeraje reda 100 μm .

Metoda za izradu senzora pomeraja u 3D aditivnoj tehnologiji je razvijena na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. TR32016 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

U Beogradu,

10.12.2017.

Recenzent:



Dr Budimir Đurađ,

gostujući profesor, Elektrotehnički
fakultet Beograd (profesor (reader),
Univ. Westminster, London, UK)



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број: _____

Датум: 2018-01-12

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 49. редовној седници одржаној дана 27.12.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензента

Тачка 13.1.5.: На основу позитивног извештаја рецензента верификује се техничко решење (М85) под називом:

"МЕТОДА ЗА ИЗРАДУ СЕНЗОРА ПОМЕРАЈА У ЗД АДИТИВНОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ"

Аутори техничког решења: Нелу Блаж, Милица Кисић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
за Секретар

Иван Нешчевић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки

