



RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne senzorske sisteme

Prof. dr. Janez Trontelj

Laboratorij za mikroelektroniko
Laboratorij za mikrosenzorske strukture
Laboratorij za načrtovanje integriranih vezij
UL - FE

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011



RRP3



Delovne naloge RRP 3

- Delovna naloga 1:
Primernost tehnologij CMOS z dolžino kanala pod 100nm za implementacijo visoko zmogljivega, nizko-šumnega merilnega kanala s predojačevalnikom in SD modulatorjem skupaj z DSP
- Delovna naloga 2:
Senzorji kemičnih substanc v razkužilih, primerni za integracijo na siliciju ter zajemanje in obdelava podatkov
- Delovna naloga 3:
Napredne MEMS tehnologije

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

2


RRP3


KAZALNIKI MERJENJA IN REZULTATI

PLAN

Kazalnik/ Datum	Diplome	Magisteriji	Doktorati	Patenti (prijave)	Članki	Tehnološke izboljšave
Junij 2011 (M21)	4	1	0	2	2	2

REALIZACIJA

	Diplome	Magisteriji	Doktorati	Patenti + patentne prijave	Članki	Tehnološke izboljšave	Vabljeni predavanja v tujini, konferenci
LMFE	3	0	1	3 +2	7	2	4
LMSE	8	1	0	0	6	0	3
LNIV	18	5	0	0	6	1	1
SKUPAJ	29	6	1	5	19	3	8

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

3




RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne senzorske sisteme

Načrtovanje Digitalnih Vezij za Senzorske Strukture

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

POVZETEK

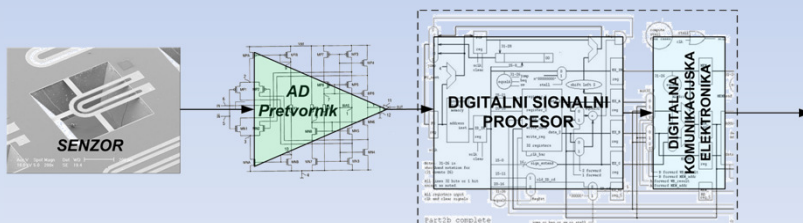
- *UVOD*
- *GOSTOTA CMOS TEHNOLOGIJE SKOZI ČAS*
- *PROBLEMI PRI ZMANJŠEVANJU TEHNOLOGIJE*
- *DIGITALNI NAČRTOVALSKI PROCES*
- *PRIMER DIGITALNEGA DELA za ASIC UNOS*
- *ZAKLJUČEK*

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

5 (10)

UVOD

- Skoraj vsaka naprava v sebi skriva digitalno vezje
- V zadnjih letih se je veliko analognih vezij preoblikovalo v digitalna vezja (digitalna vezaja manj občutljiva na zunanje vplive: temperatura, nihanje napajalne napetosti, šum, itd....)
- Vsi današnji senzorji vsebujejo ustrezno elektroniko z digitalno obdelavo podatkov. Zakaj? Podatki so natančnejši in lažje dostopni, enostavna povezava z mikrokrmilniškim vmesnikom, enostavno povezovanje več senzorjev skupaj ne da bi morali fizično dodajati oz spreminjati krmilni sistem itd ...



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

6 (10)

 LMFE

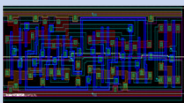
RRP3

NAMASTE

GOSTOTA CMOS TEHNOLOGIJE SKOZI ČAS

- Dimenzije osnovnih elektronskih gradnikov se zmanjšujejo*

Min. dolžina kanala tranzistorja:	Min. dolžina kanala tranzistorja:	Min. dolžina kanala tranzistorja:	Min. dolžina kanala tranzistorja:
3 μm	0.6 μm	0.25 μm	40 nm
Površina DFF celice:	Površina DFF celice:	Površina DFF celice:	Površina DFF celice:
$\sim 1000 \mu\text{m}^2$	$\sim 300 \mu\text{m}^2$	$\sim 150 \mu\text{m}^2$	$\sim 20 \mu\text{m}^2$






1980
1990
2000
2010

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

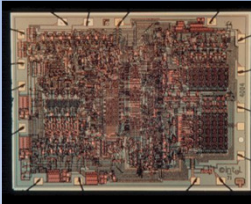
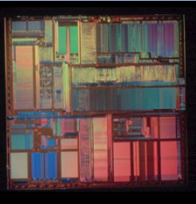
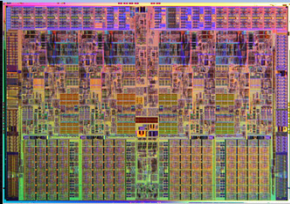
7 (10)

 LMFE

RRP3

NAMASTE

- Kompleksnost vezij se povečuje*

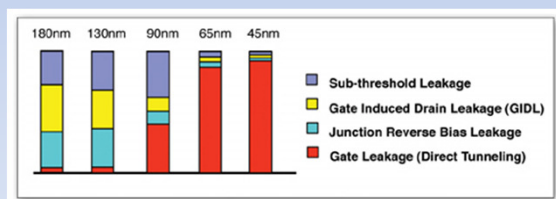
	<i>Intel 4004</i>	<i>Intel Pentium P5</i>	<i>Intel Core i7</i>
leto	1970	1993	2009
Hitrost	740 kHz (4 bit)	60 MHz (32 bit)	3.3 – 3.6 GHz
Št. Tranzistorjev	2,300/čip	3,100,000/čip	800,000,000/čip
Min. velikost kanala tranz.	10 μm	0.8 μm	45 nm
Površina čipa	$\sim 30 \text{mm}^2$	$\sim 250 \text{mm}^2$	$\sim 200 \text{mm}^2$

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

8 (10)

PROBLEMI PRI ZMANJŠEVANJU TEHNOLOGIJE

- V submikronskem področju ($<100\text{nm}$), se pojavi veliko tehnoloških težav
- Eden od najpomembnejših je tok puščanja skozi oksid krmilne elektrode
- Zaradi različnih nezaželenih tokov, višje frekvence delovanja in večjega števila elementov, se troši večja moč, kar pomeni večje segrevanje
- Zaradi vse manjših dimenzij je vse večji problem odvajanja toplote



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

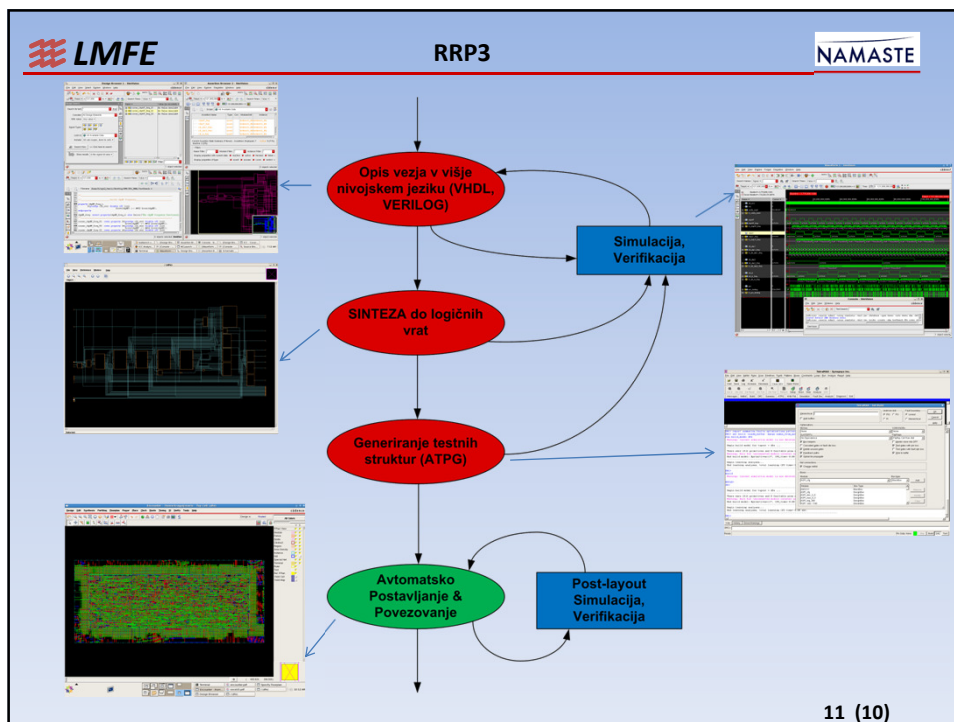
9 (10)

DIGITALNI NAČRTOVALNI PROCES (DIGITAL DESIGN FLOW)

- Za načrtovanje kompleksnih digitalnih vezij potrebujemo ustrezne metodologije in orodja
- Orodja nam omogočajo oz. pomagajo do optimalno načrtanega digitalnega sistema (poraba energije, velikost vezja, funkcionalno preverjanje ...)
- Enostavna modifikacija obstoječega digitalnega sistema

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

10 (10)



LMFE **RRP3** **NAMASTE**

PRIMER DIGITALNEGA DELA za ASIC UNOS

- Slika prikazuje layout digitalnega dela za UNos ASIC v tsmc 0.25μm tehnologiji
- Vezje vsebuje približno 1200 logičnih celic, kar zneso 7000 tranzistorjev na površini (538μm × 226μm)
- Približno 7% površine zasedejo tranzistorji

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

12 (10)

LMFE

RRP3

NAMASTE

ZAKLJUČEK

- *Načrtovanje današnjih kompleksnih digitalnih vezij je možna samo z uporabo ustreznih načrtovalskih orodij*
- *Pri tehnologijah pod 100 nm je potrebno uporabiti nove elemente, nove celice in novo metodologijo načrtovanja*

☐ Raziskavo je sofinanciralo Ministrstvo za obrambo republike Slovenije (**MORS**)

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

13 (10)

LMFE

NAMASTE

RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne
senzorske sisteme

THz aktivnost

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

Povzetek

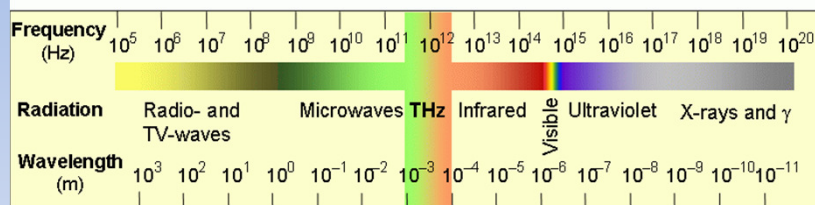
- Thz področje
- Titanov bolometer in antena
- Matrika 4x1, 16x1
- Demonstrator tehnologije
- Rezultati

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

15/13

Področje THz

Spectrum of electromagnetic radiation



Electronics

Optics



Time-domain terahertz spectroscopy

$1 \text{ THz} \leftrightarrow 1 \text{ ps} \leftrightarrow 33 \text{ cm}^{-1} \leftrightarrow 0.3 \text{ mm} \leftrightarrow 48 \text{ K} \leftrightarrow 4.1 \text{ meV}$

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

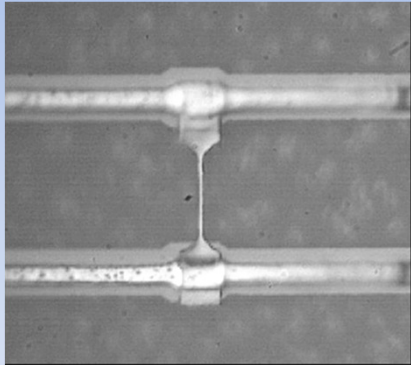
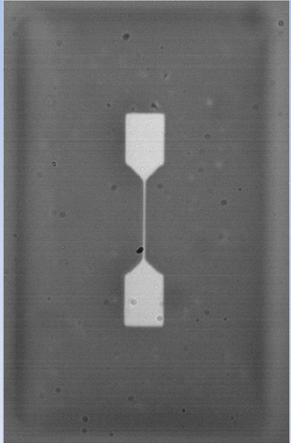
16/13

LMFE

RRP3

NAMASTE

Titanov bolometer



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

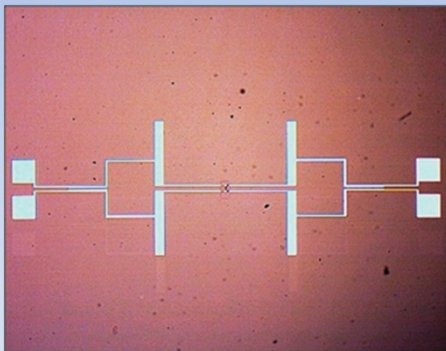
17/13

LMFE

RRP3

NAMASTE

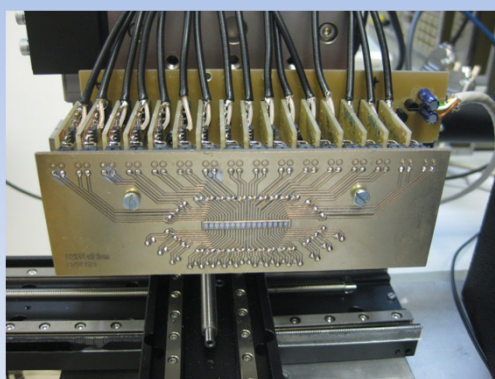
Ti bolometer z anteno



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

18/13

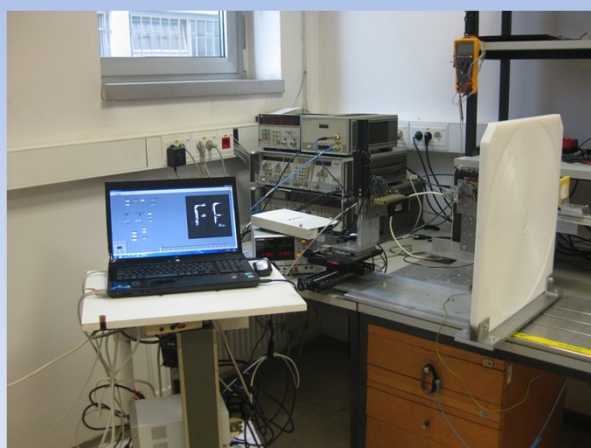
Testna plošča z 16 senzorji



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

19/13

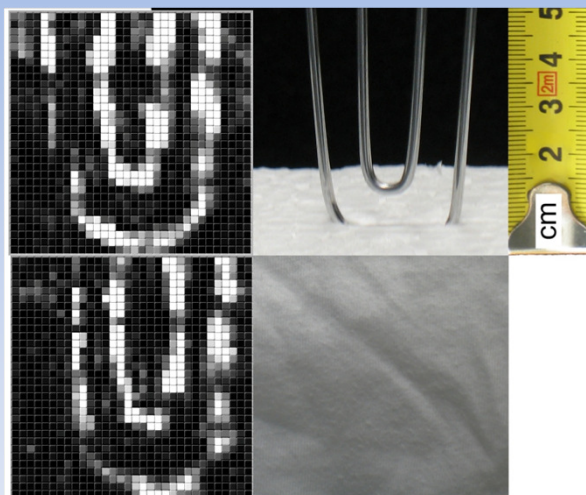
Demonstracijski sistem



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

20/13

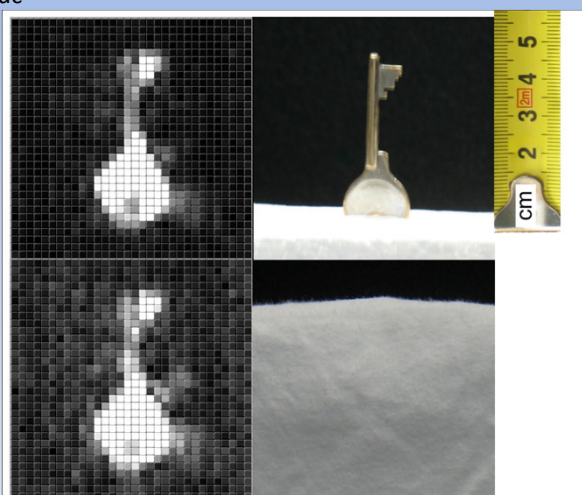
Sponka, slikana na razdalji 36 cm, kjer ena pika na sliki predstavlja površino, manjšo od 1 x 1 mm na tarči



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

21/13

Majhen ključ



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

22/13

LMFE

RRP3

NAMASTE

Plastelin na razdalji 0,5m, prekrit z dvema slojema tkanine



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

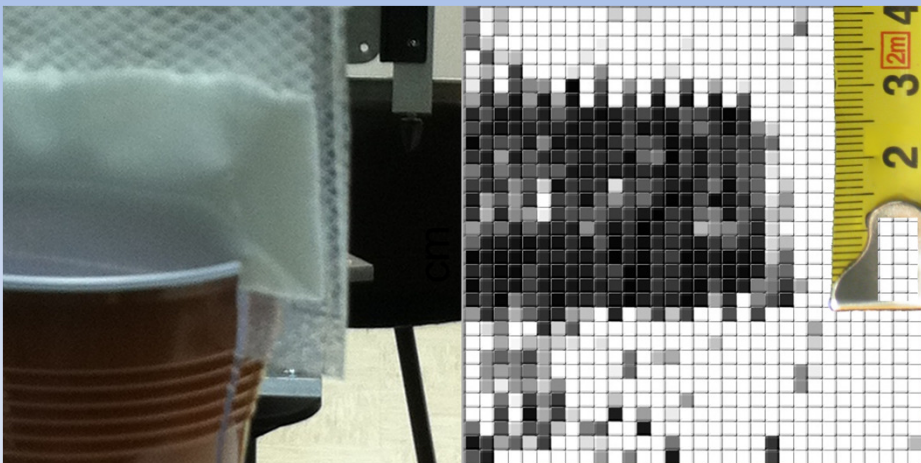
23/13

LMFE

RRP3

NAMASTE

Sladkor na razdalji 0,5m



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

24/13

LMFE

RRP3

NAMASTE

Zahvala

Zahvaljujemo se Ministrstvu za obrambo Republike Slovenije za sofinanciranje projekta.

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

25/13

LMFE

NAMASTE

RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne senzorske sisteme

Zasnova sistema vgrajenega testiranja v sodobnih števcih električne energije

SKRAEMECO



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

26(7)

Uvod

- ☐ Rezultat sodelovanja med Iskraemeco d.d. in Fakultete za Elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Laboratorija za mikroelektroniko (LMFE)
- ☐ Uspešna izvedba senzorskega dela integriranega mikrosistema v 0.35 μ m tehnologiji CMOS (SmartSenzor 02)
 - ☐ Večja točnost merjenja električne energije
 - ☐ Nižja cena (velik izplen)
 - ☐ Zanesljivejše delovanje (BIST)

27(7)

Stanje tehnike

- ☐ Kalibracija in umerjanje električnih števcev med proizvodnjo
 - Uporaba dragih preciznih inštrumentov
 - Uporaba FFT analize (veliko časa)
- ☐ Kalibracija oz. preverjanje vsakih nekaj let po vgradnji

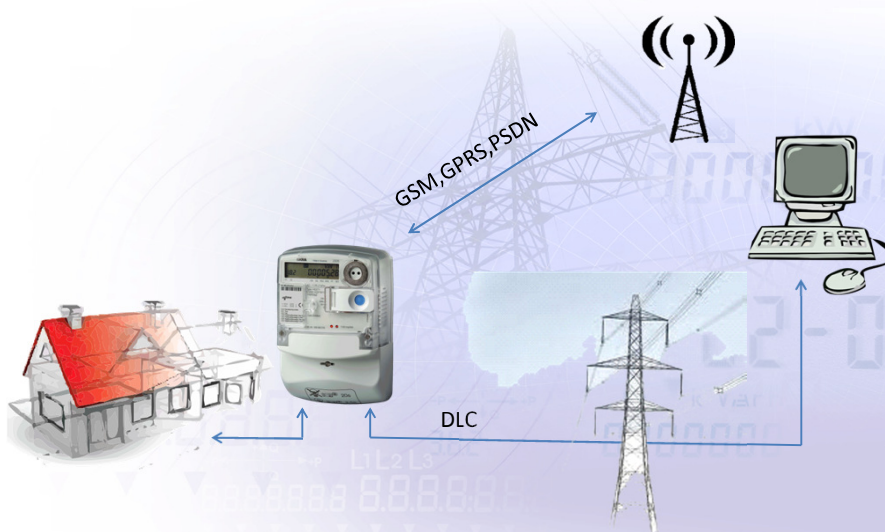
28(7)

Cilji

- ☐ Zmanjšati čas kalibracije in umerjanja med proizvodnjo
- ☐ Izdelati pametni števec električne energije, ki sam sebe preverja
 - V primeru odstopanja od specificiranih vrednosti javi napako distributerju električne energije (GSM, GPRS, PSTN, DLC, Ethernet)
 - Po nekaj letih umerjanje števcov ni potrebno

29(7)

Zasnova



30(7)

Zaključek

- ☐ Prednosti vgrajenega testiranja
 - ☐ Hitrejša/cenejša proizvodnja
 - ☐ Enostavnejše preverjanje delovanja električnega števca po vgradnji
 - ☐ Distributer električne energije oz. potrošnik ni prikrajšan pri obračunavanju električne energije
 - ☐ Konkurenčna prednost

31(7)

Hvala za pozornost



32(7)

 **LMFE**

NAMASTE

RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne
senzorske sisteme

**Detekcija hlapov
kemičnih substanc**

A. Pleteršek, M. Maček, K. Polh, M. Sok, J. Trontelj

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

 **LMFE**

RRP3

NAMASTE

Povzetek

1. Motivacija
2. Kemični senzorji
 - Uporovni senzorji
 - Kapacitivni senzorji (LMFE)
3. Meritve CAP-LMFE
4. Demonstracija
5. Sklep

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

34(14)

 LMFE
RRP3
NAMASTE

Motivacija

Cilji: Aplikacije detektorjev in

razvoj senzorjev, ki temeljijo na naslednjih lastnostih:

- selektivnost,
- odzivnost,
- reverzibilnost,
- majhnost,
- mikro poraba.





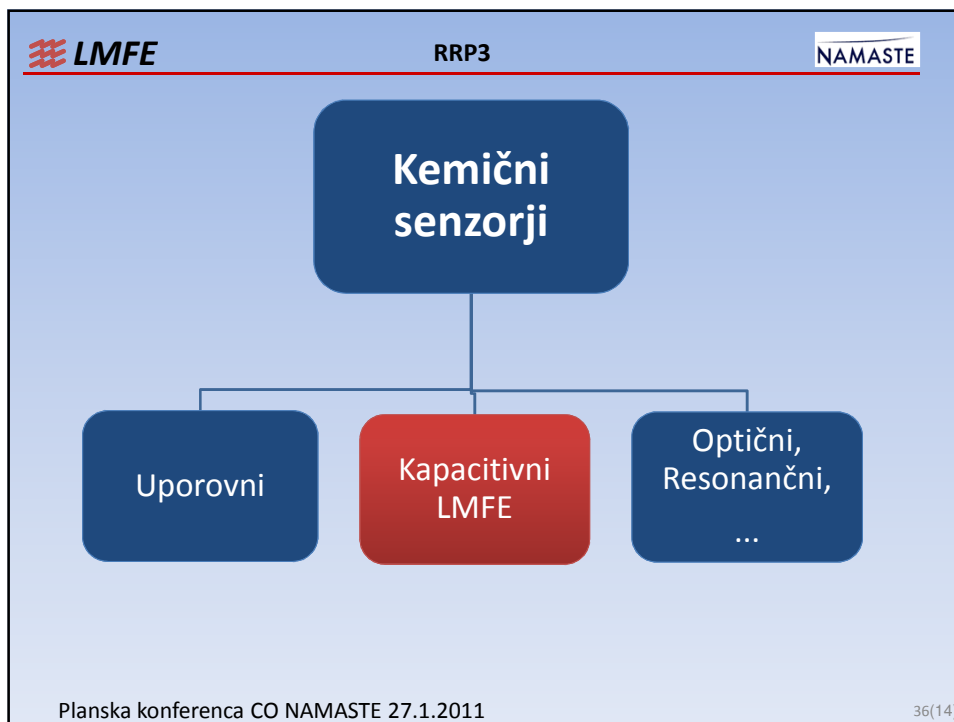
Zakaj?

- Sledljivost izdelkov,
- sledljivost v prehrabeni verigi,
- spremljanje pogojev transporta občutljivih produktov, zdravil, kontrola prisotnosti kemikalij, kontrola dezinfekcije itd.





Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011
35(14)





RRP3



Uporovni senzorji

Delovanje:

- detektorji so različni kovinski oksidi
- sprememba upornosti materiala
- zaznavanje pri povišani temperaturi detektorja

Senzorji v prodaji:

- **Figaro**
- AAS14 etanol senzor
- MQ-3
- HS-130



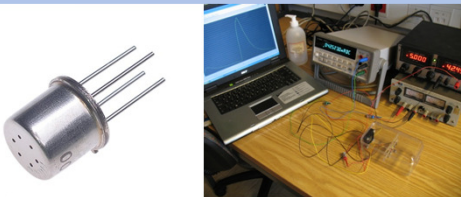
Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011
37(14)



RRP3



Primerjalne meritve s senzorji FIGARO 2620

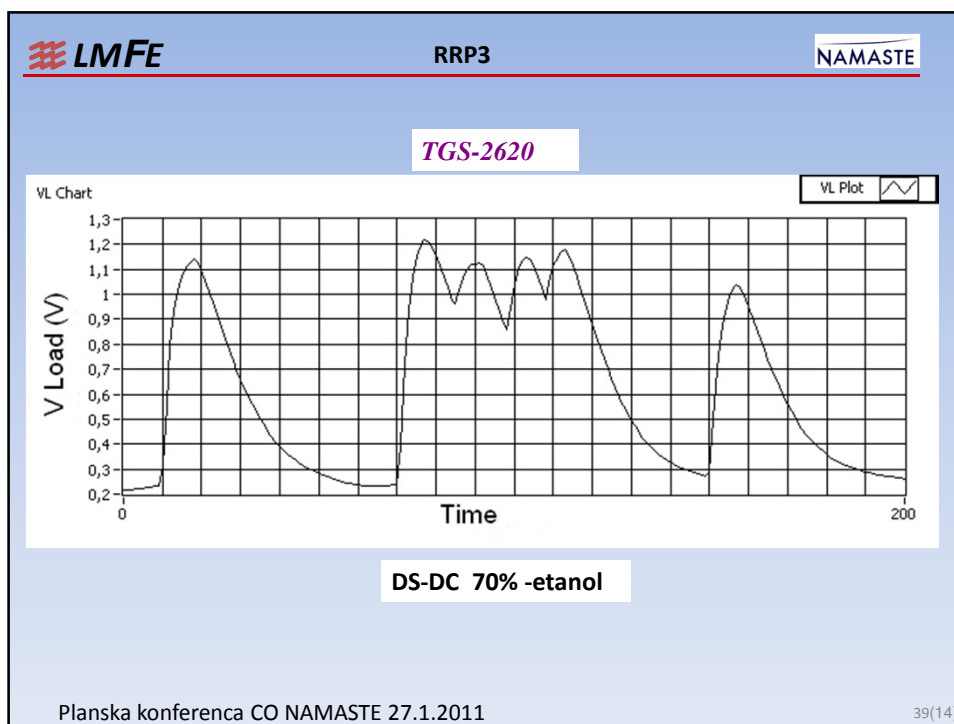


- Zračenje
- Tokovna poraba 50 mA
- Merilni sistem v grafičnem okolju LabView

Specifications:

Model number		TGS 2620-C00	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Alcohol, Solvent vapors	
Typical detection range		50 ~ 5,000 ppm	
Standard circuit conditions	Heater Voltage	V _H	5.0±0.2V DC/AC
	Circuit voltage	V _C	5.0±0.2V DC/AC
	Load resistance	R _L	Variable 0.45kΩ min.
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R _H	83Ω at room temp. (typical)
	Heater current	I _H	42 ± 4mA
	Heater power consumption	P _H	approx. 210mW
	Sensor resistance	R _S	1 ~ 5 kΩ in 300ppm ethanol
	Sensitivity (change ratio of R _S)		0.3 ~ 0.5
Standard test conditions	Test gas conditions	Ethanol vapor in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	V _C = 5.0±0.01V DC V _H = 5.0±0.05V DC	
	Conditioning period before test	7 days	

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011
38(14)



LMFE RRP3 NAMASTE

Kapacitivni senzorji

Kapacitivne senzorje razvijamo in procesiramo LMFE

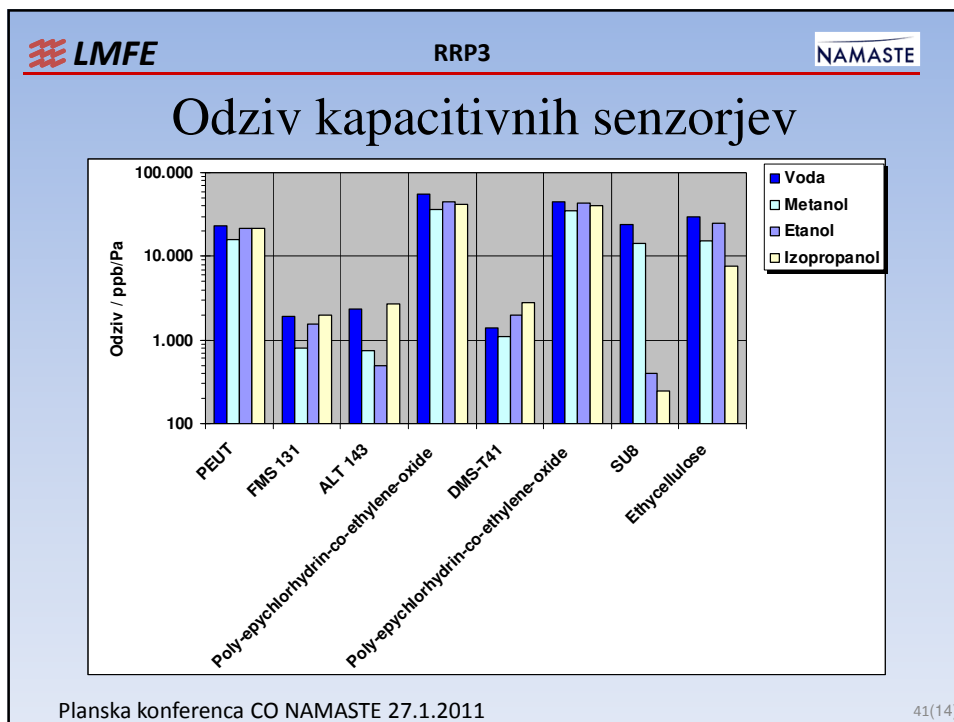
- detektor kondenzator z različnimi polimeri
- sprememba dielektričnosti polimera
- Postopek: MEMS-CMOS (surface micromachining)

Kondenzatorska enota

Polje štirih enot

Vzorec v DIL8: DC tag

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011 40(14)



LMFE RRP3 NAMASTE

Diferenčne meritve

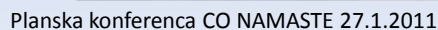
- Izločanje odziva na vlago z diferenčno priključitvijo (2 ali 4)
- AC napajanje (vzbujanje)
- Zajemanje in procesiranje senzorskih podatkov z avtomatičnim določanjem merilnega območja (SFE v čipu)

Diferenčni modul CAP- LMFE

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011 42(14)



43(14)



LMFE

RRP3

NAMASTE

Sklep

- Kapacitivni senzorji razviti in izdelani v LMFE
- Uporabljena LMFE tehnologija MEMS-CMOS
- Polimerni dielektrik: SU8, PEUT, ...
- Občutljivost : vlaga, etanol, propanol
- Projekt sofinancira Klinični center v Ljubljani

- Izboljšanje selektivnosti sistema z diferencialnim merjenjem ustreznih senzorjev
- Nadaljnje raziskave : mikro-uporovni kemični senzorji, izboljšanje selektivnosti

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

45(14)

LMFE

RRP3

NAMASTE

Hvala za pozornost!



Vprašanja

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

46(14)



RRP3

Novi materiali in tehnologije za napredne senzorske sisteme

LMFE, IJS, FKKT

ELEKTRONSKO ZAZNAVANJE ČLOVEKU NEVARNIH SNOVI V ZRAKU

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

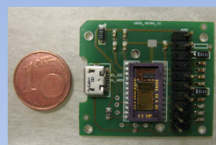


RRP3



PREGLED

- UVOD
- SENZOR
- MERILNI SISTEM
- REZULTATI
- ZAKLUČKI



Velikost prototipa



(naprava, trenutno v uporabi na letališčih)

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

48/12

UVOD

- Kaj želimo doseči:

Merilni sistem in senzor s katerim je mogoče zaznavati prisotnost zelo majhne koncentracije molekul v zraku. Želena natančnost zaznavanja je 1ppb($1 \cdot 10^{-12}$).

- Motivacija:

Želja je nadomesti izšolane pse, ki s svojim sofisticiranim vohalnim organom lahko zaznavajo do 1000 – 10.000 manjše koncentracije molekul kot ljudje.

- Cilji:

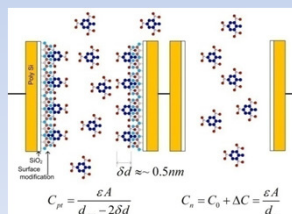
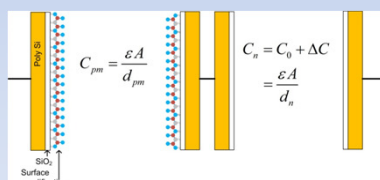
Izdelati miniaturno elektronsko napravo za selektivno zaznavanje molekul v zraku, z maksimalno občutljivostjo.

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

49/12

SENZOR

- Uporabili smo diferencialni COMB kapacitivni senzor, pri katerem je na ena polovica senzorja modificirana. Dodana plast zagotavlja selektivnost, pri zaznavanju različnih molekul v zraku.
- Pri diferencialnem senzorju merimo spremembo razlike kapacitivnosti ob prisotnosti zelenih molekul.
- Kapacitivnost vsake polovice senzorja znaša 0,5 pF,
- Občutljivost zaznave boljša kot 0,5 aF (10^{-18}).

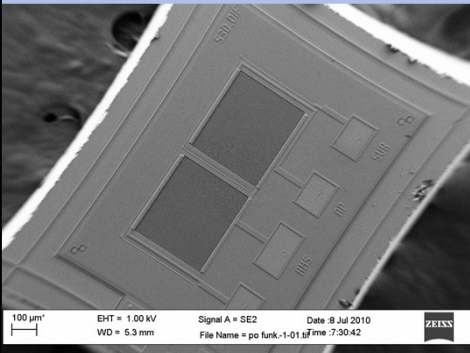
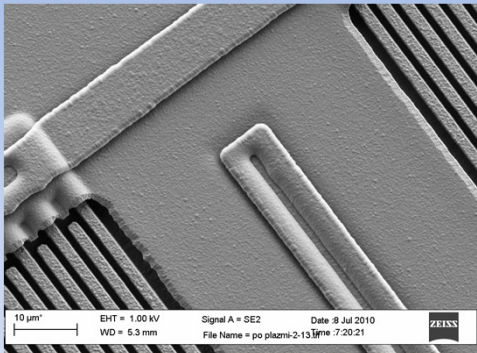


Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

50/12


RRP3


SENZOR

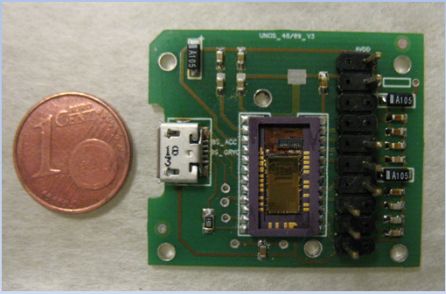
Sliki diferencialnega senzorja načrtovanega in izdelanega v LMFE.

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

51/12


RRP3


SENZOR IN INTEGRIRANA ELEKTRONIKA



“More than Moore System in Package”

“Self-assembled monolayer on SiO₂ surface”

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

52/12

LMFE

RRP3

NAMASTE

MERILNI SISTEM UNOS

Zgradba:

- Sensor in integrirano vezje (ASIC), ki zagotavljata dobro selektivnost, nizek šum ter majhne dimenzije.
- FPGA enota, na kateri se izvaja digitalno procesiranje .
- Prenosni računalnik na katerem je prikaz rezultatov.

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

53/12

LMFE

RRP3

NAMASTE

REZULTATI LABORATORIJSKIH MERITEV

ASIC 46 N2 N2 TNT 18.3.2010

$\Delta N = 4000 \Rightarrow \Delta C = 2fF(10^{-15})$

3.6 molekule TNT v 10^{12} molekulah N2

Molekula X	Gostota N_{xpt} pri parnem tlaku	Dosežena občutljivost
TNT	$1 \cdot 10^{-9}$	3.6
DNT	$1 \cdot 10^{-7}$	60
RDX	$1 \cdot 10^{-11}$	0.5

Nx=število molekul v 10^{12} molekul N2, izmerjenih v eni sekundi
 Nxpt=število molekul pri parnem tlaku
 x=TNT ali DNT ali RDX
 PT= parni tlak

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

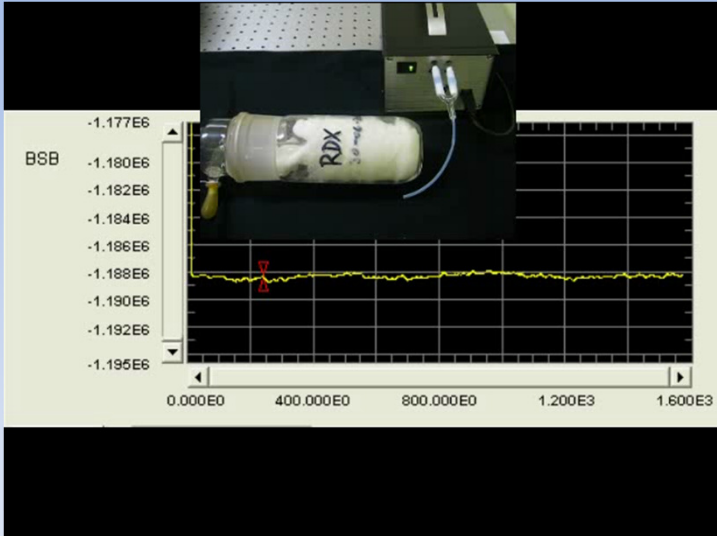
54/12

LMFE

RRP3

NAMASTE

DEMONSTRACIJA DELOVANJA SISTEMA



Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

55/12

LMFE

RRP3

NAMASTE

ZAHVALA

- ☐ Raziskavo je sofinanciralo: **Ministrstvo za obrambo republike Slovenije (MORS)**
- ☐ Pri raziskavi so sodelovali : **IJS (F5 - Odsek za fiziko trdne snovi)**
FFKT (Katedra za organsko kemijo)

Planska konferenca CO NAMASTE 27.1.2011

56/12