

## Formulár ZK - Záverečná karta projektu

Riešiteľ: doc. Ing. Ivan Hotový, PhD.	Evidenčné číslo projektu: APVT-20-021004
Názov projektu: Monoliticky integrovaný mikrosystém na detekciu plynov na báze GaAs mikromechanických štruktúr	

Na ktorých pracoviskách bol projekt riešený:	Katedra mikroelektroniky, FEI STU Bratislava
	Elektrotechnický ústav SAV Bratislava
	LOX Technologies Piešťany
	Applied Precision, s.r.o. Bratislava
Ktoré zahraničné pracoviská spolupracovali pri riešení (názov, štát):	Institut fuer Mikro- und Nanotechnologien, TU Ilmenau, Nemecko
	Instituto per la Microelettronica ed i Microsistemi, CNR, Lecce, Taliansko
	Theoretical and Physical Chemistry Institute, NHRF, Athens, Grécko

Udelené patenty alebo podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory vychádzajúce z výsledkov projektu:	0
Publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu (uved'te i publikácie prijaté do tlače alebo pripravované):  <i>Uvádzajte maximálne päť najvýznamnejších publikácií.</i>	<p>Hotový I., Huran, J., Spiess, L., Romanus, H., Búc, D., Kosiba, R.: NiO-based nanostructured thin films with a Pt surface modification for gas detection. <i>Thin Solid Films</i> <b>515</b> (2006), 658-661.</p> <p>Hotový, I., Huran, J., Spiess, L., Romanus, H., Capone, S., Řeháček, V., Taurino, A.M., Donoval, D., Siciliano, P.: Au-NiO nanocrystalline thin films for sensor application. <i>Journal of Physics: Conference Series</i> <b>61</b> (2007), 435-439.</p> <p>Haščík, Š., Hotový, I., Lalinský, T., Vanko, G., Řeháček, V., Mozolová, Z.: Preparation of thin GaAs suspended membranes for gas microsensors using plasma etching. <i>Vacuum</i> <b>82</b> (2008), 236-239.</p> <p>Hotový, I., Řeháček, V., Mika, F., Lalinský, T., Haščík, Š., Vanko, G., Držík, M.: Gallium arsenide suspended microheater for MEMS sensor arrays. <i>Microsystem Technologies</i>, doi: 10.1007/s00542-007-0470-6 (2007).</p> <p>Lalinský, T., Držík, M., Jakovenko, J., Vanko, G., Mozolová, Ž., Haščík, Š., Chlpík, J., Hotový, I., Řeháček, V., Kostič, I., Matay, L., Husák, M.: GaAs based micromachined thermal convertor for gas sensors. <i>Sensors and Actuators A</i>, doi: 10.1016/j.sna. 200705.014 (2007).</p>
V čom vidíte uplatnenie výsledkov tohto projektu:	Mikrosystém môže byť zabudovaný v prenosných meracích a detekčných prístrojoch a zariadeniach a implementovaný v sieťových aplikáciách pri ochrane a monitorovaní životného prostredia.

Podpisom záverečnej karty riešiteľ vyjadruje svoj súhlas ku zverejneniu údajov v nej uvedených.

Podpis riešiteľa: .....

Dátum: .....

# Charakteristika výsledkov

Evidenčné číslo: APVT-20-021004

## Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - slovensky:

- Výsledkom riešenia projektu je funkčný čip mikrosystému o veľkosti  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  nachádzajúci sa na  $1 \text{ }\mu\text{m}$  hrubej AlGaAs/GaAs membráne s plochou  $150 \times 150 \text{ }\mu\text{m}^2$  a zavesený na 4 mikromostíkoch šírky  $35 \text{ }\mu\text{m}$ . Celý samonosný mikrosystém je umiestnený nad dutinou s rozmermi  $400 \times 400 \text{ }\mu\text{m}^2$  v objemovom GaAs substráte s hrúbkou  $350 \text{ }\mu\text{m}$ . Mikrosystém obsahuje TiN/Pt mikrovyhrievač, TiN/Pt snímač teploty, mikrosenzor plynu tvorený sústavou Pt interdigitálnych elektród a plynovo-citlivou NiO vrstvou. Komunikáciu mikrosystému s vonkajším prostredím zabezpečuje 6 expandovaných kontaktov nachádzajúcich sa objemovom GaAs substráte, pričom tieto sú prepojené s mikrosystémom na membráne cez 3 páry prívodných vodičov s minimálnou šírkou  $15 \text{ }\mu\text{m}$ . Navyše v rámci technologického procesu sa na GaAs substráte vytvorili aj 3 typy rôznych testovacích štruktúr, ktoré umožňujú merať a verifikovať jednotlivé subsystémy. Na vertikálne elektroizolačné oddelenie medzi mikrovyhrievačom a mikrosenzorom plynu bol použitý polyimid PI 2555 hrúbky  $1,5 \text{ }\mu\text{m}$ . Technologický proces prípravy mikrosystému je značne zložitý a na jeho prípravu sa počas jedného obežníka použilo 10 fotolitografických masiek a zrealizovalo 26 technologických operácií.
- Bola zvládnutá technológia prípravy nanokryštalických NiO tenkých vrstiev pomocou metódy jednosmerného reaktívneho magnetronového naprašovania v zmesi pracovných plynov argónu a kyslíka a následne na takto pripravených NiO vrstiev sa modifikoval ich povrch pomocou veľmi tenkých Pt a Au vrstvičiek ( $1$  a  $7 \text{ nm}$ ).
- Pomocou programov ANSYS, DEETEN a Cowentor Ware boli simulované elektro-tepelné a tepelno-mechanické vlastnosti mikromechanických štruktúr na báze GaAs. Boli navrhnuté a modelované rôzne typy a topológie mikromechanickej štruktúry vychádzajúce z tenkej  $1 \text{ }\mu\text{m}$  hrubej membrány tvorenej dvojvrstvou AlGaAs a GaAs štvorcového tvaru.
- Boli testované funkčné vlastnosti pripravených mikrosystémov na prítomnosť vodíka a etanolu v rozsahu 1000 až 10000 ppm pri pracovných teplotách do  $210^\circ\text{C}$ .

## Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - anglicky:

- Main result of the project is functional chip microsystem of size  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  situated on  $1 \text{ }\mu\text{m}$  AlGaAs/GaAs membrane ( $150 \times 150 \text{ }\mu\text{m}^2$ ) and suspended on 4 microbridges of  $35 \text{ }\mu\text{m}$  in width. The cavity under the microsystem through GaAs substrate ( $350 \text{ }\mu\text{m}$ ) is  $400 \times 400 \text{ }\mu\text{m}^2$ . Developed microsystem contains of TiN/Pt microheater, TiN/Pt sensor element and NiO gas microsensor. The communication between microsystem and outside is realized by 6 expanded contact pads prepared on bulk GaAs substrate and connected through 3 pairs of line wires with minimal  $15 \text{ }\mu\text{m}$  in width. Three different testing structures were designed and fabricated in the framework of microsystem technology and they allow us to measure and verify some subsystems. The barrier insulating layer of polyimide PI 2555 ( $1,5 \text{ }\mu\text{m}$ ) between microheater and gas microsensor was sandwiched. Technology process was very complex and 10 photolithographic masks and 26 technological steps were used.
- Technology of nanocrystalline NiO thin films using dc reactive magnetron sputtering in a mixture of oxygen and argon were developed. Subsequently very thin Pt and Au overlayers with a thickness of about  $1$  and  $7 \text{ nm}$  on top of the NiO surface were deposited by magnetron sputtering.
- Two-dimensional simulations of electro-thermal and thermo-mechanical properties of GaAs-based micromechanical structures by ANSYS, DEETEN and Cowentor Ware were realized. Different types and topologies of micromechanical structure coming from square shape AlGaAs/GaAs suspended structure of  $1 \text{ }\mu\text{m}$  were designed and modeled.
- Detailed characterization of the responses of gas sensing microsystems to hydrogen and ethanol in the range from 1000 to 10 000 ppm were tested.

Podpis riešiteľa: .....