



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

# **ELABORAREA MICROÎNCĂLZITORULUI PENTRU SENZORI DE GAZE**

**Student:**

**Cristian Olga**

**Conducător:**

**Prof. Univ., dr. hab Trofim Viorel,**

**Chișinău – 2018**


Ministerul Educației al Republicii Moldova  
Universitatea Tehnică a Moldovei  
Programul de masterat „Microelectronica și Nanotehnologii”

Admis la susținere  
Șef Departament MIB:  
prof.univ.dr. Șentea Victor

„ 16 ” 01 2018

## Elaborarea Microîncălzitoarelor pentru senzori de gaze

Teză de master

  
Masterand: Cristian Olga

  
Conducător: Trofim Viorel

Chișinău – 2018

## ADNOTARE

la teza de master cu tema "Elaborarea microîncălzitorului pentru senzori de gaze",

Teza cuprinde introducerea, trei capitole, concluzii, bibliografia din 30 titluri, 1 anexă, 53 pagini text de bază, inclusiv 57 figuri și 0 tabele

**Cuvinte cheie:** Dispozitiv de monitorizare,elaborarea,low-power, dezvoltare rapidă, baterie tip cronă,microincalzitor,sticla,caramica

**.Domeniul de cercetare** îl constituie aspectele teoretice și practice de elaborare a microîncălzitorului pentru senzori de gaze folosind diverse tehnici și materiale.

**Scopul lucrării** este de a obține dispozitive miniaturizate, cu costuri reduse pe substraturi SiO<sub>2</sub>, cu sensibilitate ridicată și consum redus de energie pentru a fi utilizate în dispozitivele portabile.

**Metodologia cercetării științifice** se bazează pe elaborarea microîncălzitoarelor, utilizând diverse materiale, și folosind disign de diferite mărimi cu scopul de a elabora noi construcții de microîncălzitoare.

**Noutatea și originalitatea** științifică a rezultatelor obținute constă în: definirea unei noi metode de elaborarea a microîncălzitoarelor care funcționează la temperaturi ridicate.

**Semnificația teoretică** a lucrării o constituie cercetarea metodelor de elaborare, verificare și sinteza a tehnicilor noi.

**Valoarea aplicativă a lucrării** constă în elaborarea microîncălzitorului pe baza nichelinei cu contracte din Ni-Pd depuse pe suprafața peliculei Si-O<sub>2</sub>-Si cu temperatura de funcționare-400°C.

## ANNOTATION

the master's thesis on "Development microîncălzitorului for gas sensors",

The thesis includes introduction, three chapters, conclusions, bibliography of 23 titles, 2 appendices, 52 pages of main text, including 57 figures and tables 0. The results are published in 26 scientific papers.

**Keywords:** Monitoring device, development, low power, fast development, crown battery, micro-heater, glass, brick, palladium.

**The field of research** is the theoretical and practical aspects of elaboration of the micro-heater for gas sensors using various techniques and materials.

**The purpose** of the work is to obtain miniaturized, low-cost, non-silicone substrates with high sensitivity and low power consumption for use in portable devices.

**The methodology** of scientific research is based on the development of microheaters, using various materials, and using disign of various sizes in order to develop new micro-heater constructions.

**The novelty and scientific originality** of the obtained results consists of: defining a new method of elaborating high-temperature microheaters.

**The theoretical significance** of the work is the research of the methods of elaboration, verification and synthesis of new techniques.

**The applicative value** of the paper is the elaboration of the nickel-based microheater with Ni-Pd contracts deposited on the Si-O<sub>2</sub> film surface with a working temperature of 400 ° C.

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	3
<b>I. TEHNOLOGIA MICROÎNCĂLZITOARELOR PENTRU SENZORI DE GAZE PE SUBSTRATUL DE CERAMICĂ</b> .....	7
1.1. Prezentarea generală a procesului cu laser.....	10
1.2. Proiectare și fabricare microîncălzitoarelor .....	13
1.3. Măsurarea proprietăților termice.....	13
1.4. Schimbarea comportamentului termic al încălzitorului integrat pe substratul de ceramică .....	16
1.5. Caracterizarea termică a unui microîncălzitor pentru senzorii de gaze. ....	18
<b>II. PROIECTAREA ȘI FABRICAREA MICROÎNCĂLZITORULUI</b> .....	23
2.1. Depunerea peliculelor de Ni-Cr prin vaporizarea termică în vid.....	23
2.2. Fotolitografia .....	26
2.2.1. Confecționarea fotomăștilor și construcția lor .....	26
<b>III. CARACTERISTICILE MICROÎNCĂLZITOARELOR PENTRU SENZORI DE GAZE</b> .....	30
3.1. Caracteristica microîncălzitorului pe substrat de sticlă.....	32
3.2. Caracteristica microîncălzitorului pe substrat de ceramica .....	33
3.4. Caracteristica microîncălzitorului pe Substrat de oxid de siliciu.....	36
<b>CONCLUZII</b> .....	49
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	50

## REZUMAT

Elaborarea microîncălzitoarelor pentru senzori de gaze reprezintă o temă actuală deoarece multe tipuri de senzori funcționează la temperaturi ridicate (100-400°C) . **Obiectivul** principal este de a obține dispozitive miniaturizate, cu costuri reduse pe substraturi SiO<sub>2</sub>, cu sensibilitate ridicată și consum redus de energie pentru a fi utilizate în dispozitivele portabile. Tehnologiile descrise permit generarea de noi tipuri de microsensori cu instrumentele existente (software, facilități tehnologice, etc.).

Elaborarea microîncălzitoarelor pentru senzori de gaze pe bază materialelor (semiconductorilor) de detectare reprezintă o soluție viabilă pentru un număr tot mai mare de aplicații, variind de la îngrijirea sănătății și siguranța la controlul calității în procesele industriale.

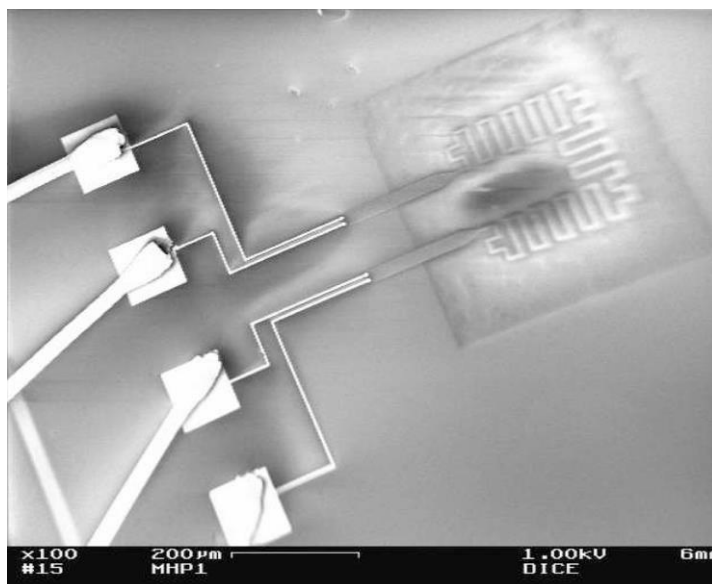
În rezultatul îndeplinirii acestui proiect au fost elaborate microîncălzitoare pe baza Ni-Cr cu următorii parametri:

1. Temperatura maximală obținută - 400°C;
2. Puterea consumată – 8-10W;

## INTRODUCERE

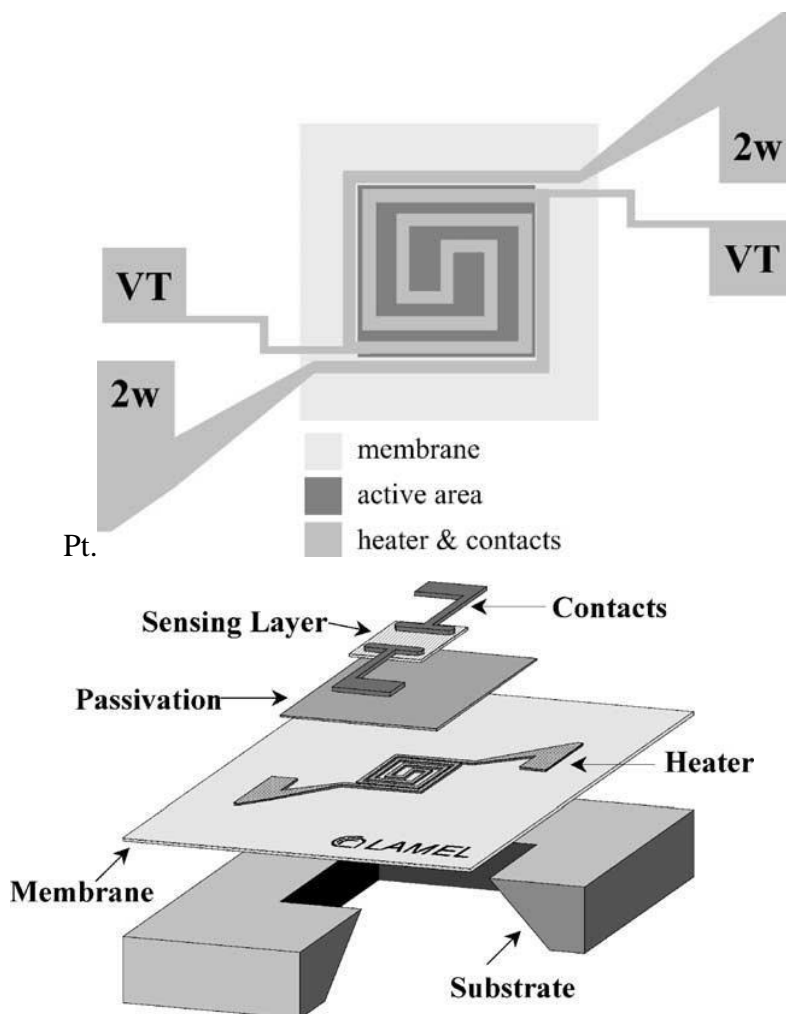
În ultimii ani un subiect important în dezvoltarea tehnologiilor reprezintă elaborarea microîncălzitoarelor pentru senzori de gaze. Pentru mai multe materiale sensibile la gaze, performanțele senzorilor sunt îmbunătățite în direcția micșorării temperaturii de funcționare. Însă astăzi majoritatea senzorilor funcționează cu uniformitate termică ridicată, energia redusă, costurile de fabricare compatibilitate cu procesele tehnologice a C.I a senzorilor concepute pentru a permite integrarea microsistemelor.

Mulți savanți dintre care și Laconte au arătat un design ce cuprinde proprietățile enumerate mai sus prin realizarea unei forme de buclă bazate pe polisiliciu, demonstrate în figura 1.1. Membrana peliculei subțire este una dintre cele mai importante părți ale structurii integrate care trebuie studiate cât și suportul mecanic pentru microîncălzitor (și pelicula de detectare, în cazul senzorilor de gaze) deoarece este responsabil pentru izolarea termică prin urmare reduce consumul de energie.



**Figura 1.1.** Microîncălzitor cu suprafața de 440x440 μm. [1]

Savantul M. Baroncini relatează că rezultatele simulării au arătat că uniformitatea temperaturii optime se obține datorită unui rezistor dublu de tip spiral de Pt. În comparație cu un rezistor standard al unui microelectron cu un gradient de temperatură foarte mare ( $\approx 5 \text{ }^\circ\text{C } \mu\text{m}^{-1}$ ), această uniformitate mai bună se datorează posibilității de distribuire treptată a temperaturii pe toată suprafața de la o valoare minimă în centrul structurii până la o valoare maximă la limită.



**Figura 1.2.** Structura elementului de încălzire și structura dispozitivului de detectare.

[1]



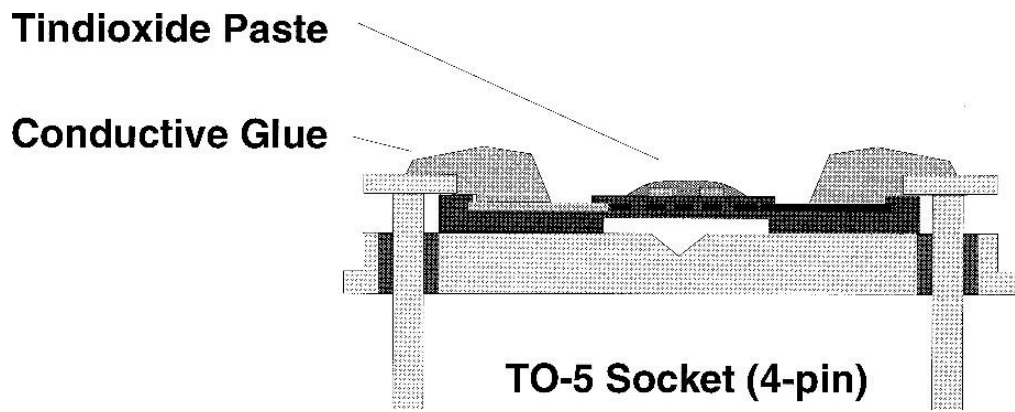
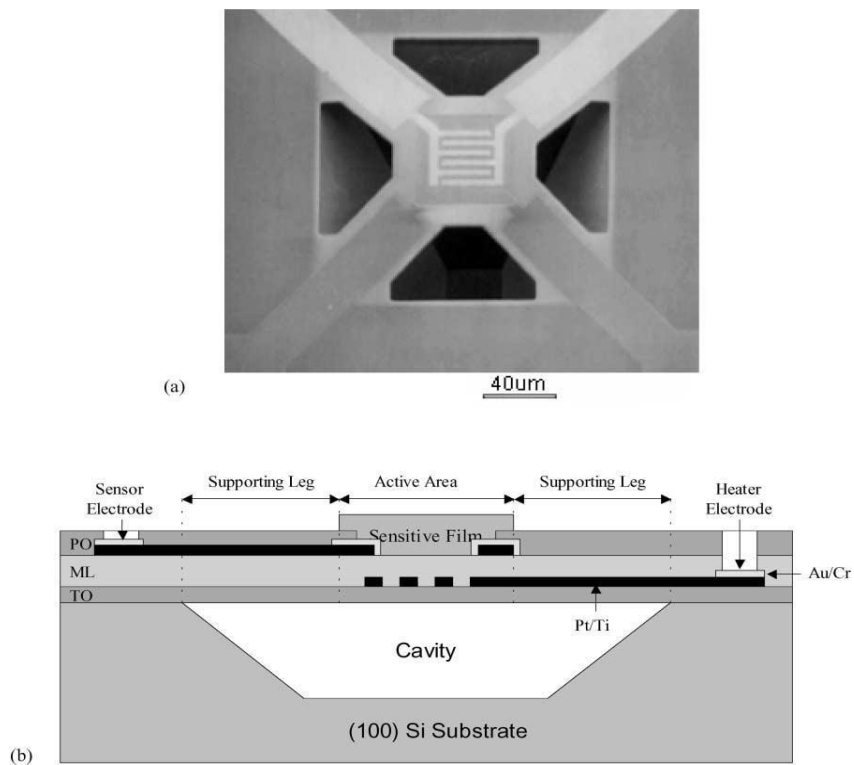


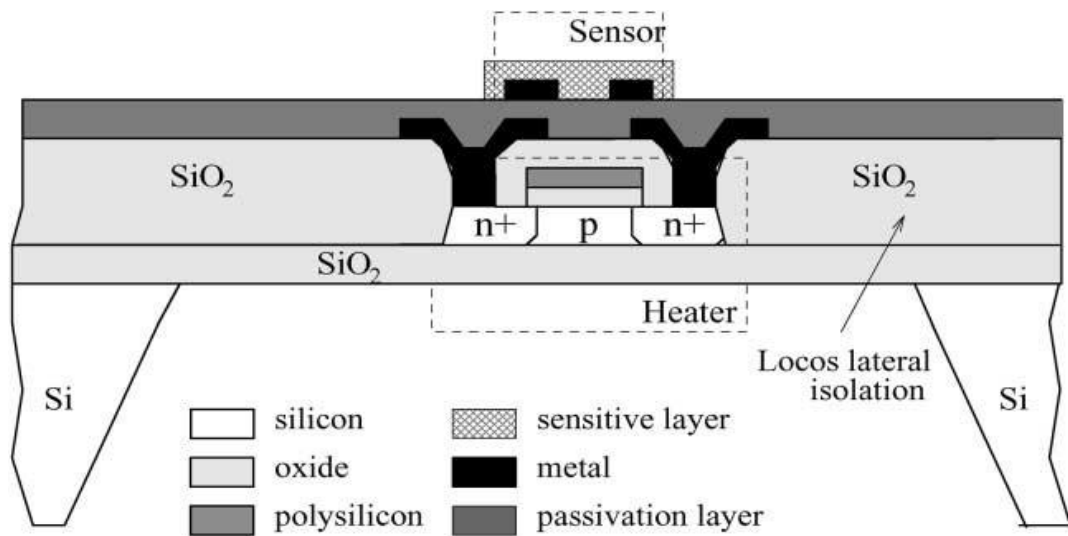
Figura 1.3. Vedere schematică a unui senzor.[3]

Savantul Y. MO a utilizat ca substrat de oxid de siliciu și tehnologie standard CMOS. Rezistorul microîncălzitorului a fost realizat prin pulverizare Pt / Ti.[3]



**Figura 1.4.** Structura unui microîncălzitor (a) vedere frontală; (b) vedere transversală.[4]

Iar savantul F. Udrea propune un micro-încălzitor sub forma unui FET cu autoîncălzire. Încălzitorul FET este în esență fie un MOSFET cu n-canal sau cu canal tip-p în tehnologia CMOS și, prin urmare, nu necesită pași suplimentari pentru fabricare .[5]



**Figura 1.5.** Structura unui senzor de gaz.[5]

## BIBLIOGRAFIE

### Capitole în monografii și culegeri:

1. CARDINALI, G.C.; DORI, L.; FIORINI, M.; SAYAGO, I.; FAGLIA, G.; MALOBERTI, F.; TONETTO, D.; A smart sensor system for carbon monoxide detection; *Anal. Integ. Circ. Sign.Process.* 14 (1997) pp. 275–296.
2. BARONCINI, M.; PLACIDI, P.; SCORZONI, A.; CARDINALI, G.C.; DORI, L.; NICOLETTI, S.; Accurate extraction of the temperature of the heating element in micromachined gas sensors; in: *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*; Sydney; Australia; 2001; pp. 445–448.
3. FAGLIA, G.; COMINI, E.; PARDO, M.; TARONI, A.; CARDINALI, G.C.; Micromachined gas sensors for environmental pollutants; *Microsyst. Technol.* 6 (1999) pp. 54–59.
4. FUNG, S.H.K.; TANG, Z.; CHAN, P.C.H.; SIN, J.K.O.; CHEUNG, P.W.; Thermal analysis and design of a micro-hotplate for integrated gas sensor applications; *Sens. Actuators A* 54 (1996) pp. 482–487.

### Articol din revista cu factor de impact :

5. SIMON, I.; B`ARSAN, N.; BAUER, M.; WEIMAR, U.; Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performances; *Sens. Actuators B* 73 (2001) pp. 1–26.
6. DORI, L.; MACCAGNANI, P.; CARDINALI, G.C.; FIORINI, M.; SAYAGO, I.; GUERRI, S.; RIZZOLI, R.; SBERVEGLIERI, G.; New materials and heater geometry for high performance micromachined thermally insulated structures in gas sensor applications; in: *Proceedings of the Eurosensors XI*; Warsaw; Poland; 1997; pp. 289–292.
7. LEE, D.; CHUNG, W.; KIM T.; BAEK, J.; Low power micro gas sensors; in: *Proceedings of the Eurosensors IX*; Stockholm; Sweden; 1995; pp. 827–830.
8. SBERVEGLIERI, I.G.; HELLMICH, W.; MÜLLER, G.; Silicon hotplates for metal oxide gas sensor elements; *Microsyst. Technol.* 3 (1997) pp. 183–190.

9. GÖTZ, A.; GRÀCIA, I.; CANÉ, C.; LORA-TAMAYO, E.; Thermal and mechanical aspects for designing micromachined low-power gas sensors; *J. Micromech. Microeng.* 7 (1997) pp. 247–249.

**Link-uri:**

10. [http://www.imt.ro/romjist/Volum10/Number10\\_1/pdf/05-Moldovan.pdf](http://www.imt.ro/romjist/Volum10/Number10_1/pdf/05-Moldovan.pdf) (accesat 15.12.2017).
11. <http://www.dice.ucl.ac.be/si/Highlights2001/microheater.pdf>. (Figures 1.6 - 1.10) (accesat 15.12.2017).

**Brevete de invenții:**

12. LACONTE, J.; DUPONT, C.; AKHEYAR, A.; RASKIN, J.-P.; FLANDRE, D.; Fully CMOS compatible low-power microheater; in: *Proceedings of the DTIP Conference; Cannes; 2002.*
13. ASLAM, M. ; GREGORY, C.; HATFIELD, J.V.; Polyimide membrane for micro-heated gas sensor array. *Sens. Actuat. B* **2004**; pp.103; 153-157.
14. MO, Y.W.; OKAWA, Y.; NAKAI ,T.; KATUKAWA, N.; Micro-machined gas sensor array based on metal film micro-heater. *Sens. Actuat. B* **2001**; 79; pp. 175-181.
15. PARTRIDGE, J.G .; FIELD, M.R.; SADEK, A.Z.; KALANTAR-ZADEH, K.; DU PLESSIS, J.; TAYLOR, M.B.; ATANACIO, A.; PRINCE, K.E.; MCCULLOCH, D.G.; Fabrication structural characterization and testing of a nanostructured Tin oxide gas sensor. *IEEE Sens. J.* **2009**; pp.9; 563-568.
16. MO, Y.; OKAWA, Y.; INOUE, K.; NATUKAWA ,K.; Low-voltage and low-power optimization of micro-heater and its on-chip drive circuitry for gas sensor array. *Sens. Actuat. A* **2002**; pp.100; 94-101
17. GUIDI, V.; CARDINALI, G.C.; DORI, L.G. ; FAGLIA, M.; FERRONI, G.; MARTINELLI, P.; NELLI, G.; Thin-film gas sensor implemented on a low-power-consumption micromachined silicon structure, *Sens. Actuators B* 49 (1998) pp.82–89.
18. CAVICCHI, R.E.; SUEHLE, J.S.; KREIDER ,K.G.; GAITAN, M.; CHAPARALA, P. ;Fast temperature programmed sensing for micro-hotplate gas sensors, *IEEE Electron Dev. Lett.* 16 (1995) pp.286–288.

19. J. Laconte, C. Dupont, D.s Flandre and J.-P. Raskin “SOI CMOS Compatible Low-Power Microheater Optimization for the Fabrication of Smart Gas Sensors”, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 4, NO. 5, OCTOBER 2004.
20. M. BARONCINI, P. PLACIDI, G.C. CARDINALI, A. SCORZONI, “Thermal characterization of a microheater for micromachined gas sensors”, Sensors and Actuators A 115 (2004) 8–14.
21. D. BRIAND, A. KRAUSS, B. VAN DER SCHOOT, U. WEIMAR, N. BARSAN, W. GOPEL, N.F. DE ROOIJ, “Design and fabrication of high-temperature micro-hotplates for drop-coated gas sensors”, Sensors and Actuators B 68 (2000) 223–233.
22. Y. MO, Y. OKAWA, M. TAJIMA, T. NAKAI, N. YOSHIIKE, K. NATUKAWA. “Micro-machined gas sensor array based on metal film micro-heater”, Sensors and Actuators B 79 (2001) 175-181.
23. F. UDREA, J.W. GARDNER, D. SETIADI, J.A COVINGTON, T. DOGARU, C.C. LU, W.I. MILNE, “Design and simulations of SOI CMOS micro-hotplate gas sensors”, Sensors and Actuators B 78 (2001) 180-190.
24. ASLAM, M. ; GREGORY, C.; HATFIELD, J.V.; Polyimide membrane for micro-heated gas sensor array. *Sens. Actuat. B* **2004**; pp.103; 153-157.
25. MO, Y.W.; OKAWA, Y.; NAKAI ,T.; KATUKAWA, N.; Micro-machined gas sensor array based on metal film micro-heater. *Sens. Actuat. B* **2001**; 79; pp. 175-181.
26. PARTRIDGE, J.G .; FIELD, M.R.; SADEK, A.Z.; KALANTAR-ZADEH, K.; DU PLESSIS, J.; TAYLOR, M.B.; ATANACIO, A.; PRINCE, K.E.; MCCULLOCH, D.G.; Fabrication structural characterization and testing of a nanostructured Tin oxide gas sensor. *IEEE Sens. J.* **2009**; pp.9; 563-568.
27. MO, Y.; OKAWA, Y.; INOUE, K.; NATUKAWA ,K.; Low-voltage and low-power optimization of micro-heater and its on-chip drive circuitry for gas sensor array. *Sens. Actuat. A* **2002**; pp.100; 94-101
28. GUIDI, V.; CARDINALI, G.C.; DORI, L.G. ; FAGLIA, M.; FERRONI, G.; MARTINELLI, P.; NELLI, G.; Thin-film gas sensor implemented on a low-power-consumption micromachined silicon structure, Sens. Actuators B 49 (1998) pp.82–89.
29. CAVICCHI, R.E.; SUEHLE, J.S.; KREIDER ,K.G.; GAITAN, M.; CHAPARALA, P.

30. Fast temperature programmed sensing for micro-hotplate gas sensors, *IEEE Electron Dev. Lett.* 16 (1995) pp.286–288
31. FUNG, S.H.K.; TANG, Z.; CHAN, P.C.H.; SIN, J.K.O.; CHEUNG, P.W.; Thermal analysis and design of a micro-hotplate for integrated gas sensor applications; *Sens. Actuators A* 54 (1996) pp. 482–487.
32. SIMON, I.; B<sup>^</sup>ARSAN, N.; BAUER, M.; WEIMAR, U.; Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performances; *Sens. Actuators B* 73 (2001) pp. 1–26.
33. DORI, L.; MACCAGNANI ,P.; CARDINALI ,G.C.; FIORINI, M.; SAYAGO, I.; GUERRI, S.; RIZZOLI, R.; SBERVEGLIERI, G.; New materials and heater geometry for high performance micromachined thermally insulated structures in gas sensor applications; in: *Proceedings of the Eurosensors XI*; Warsaw; Poland; 1997; pp. 289–292.
34. LEE, D.; CHUNG, W.; KIM T.; BAEK, J.; Low power micro gas sensors; in: *Proceedings of the Eurosensors IX*; Stockholm; Sweden; 1995; pp. 827–830.
35. SBERVEGLIERI, I.G.; HELLMICH, W.; MÜLLER, G.; Silicon hotplates for metal oxide gas sensor elements; *Microsyst. Technol.* 3 (1997) pp. 183–190.
36. GÖTZ, A.; GRÀCIA, I.; CANÉ, C.; LORA-TAMAYO, E.; Thermal and mechanical aspects for designing micromachined low-power gas sensors; *J. Micromech. Microeng.* 7 (1997) pp. 247–249.
37. LACONTE, J.; DUPONT, C.; AKHEYAR, A.; RASKIN, J.-P.; FLANDRE, D.; Fully CMOS compatible low-power microheater; in: *Proceedings of the DTIP Conference*; Cannes; 2002.