



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00476

(22) Data de depozit: 31/07/2020

(41) Data publicării cererii:  
28/01/2022 BOPI nr. 1/2022

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MICROTEHNOLOGIE-IMT BUCUREȘTI,  
STR.EROU IANCU NICOLAE 126A,  
VOLUNTARI, IF, RO

(72) Inventatori:  
• ȘERBAN BOGDAN CĂTĂLIN,  
STR.LIVIU REBREANU, NR.32A, BL.PM.70,  
AP.80, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;  
• BUIU OCTAVIAN,  
STR. CETATEA DE BALTĂ NR. 26, BL. P10,  
SC. E, ET. 1, AP. 72, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• COBIANU CORNEL,  
ȘOS. BUCUREȘTI-MĂGURELE NR.72 D,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SENZOR REZISTIV PENTRU UMIDITATE RELATIVĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor rezistiv pentru monitorizarea umidității relative prin controlul aerului în spații închise din industria auto, industria textilă și a hârtiei, industria medicală, în agricultură, industria electronică, industria farmaceutică, industria chimică și altele asemenea. Senzorul conform invenției este alcătuit din:

1) un substrat dielectric care este constituit din 470  $\mu\text{m}$  de Si acoperit cu 1  $\mu\text{m}$  de  $\text{SiO}_2$ ,

2) electrozi metalici care se depun pe suprafața substratului dielectric prin printare directă, pulverizare catodică sau evaporare în vid și pot fi realizați din același material Au sau Cr sau din materiale diferite, având formă liniară sau o configurație interdigitată, și

3) un strat senzitiv constituit dintr-un film subțire de nanocompozit binar precum:

a) nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic  
b) materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic sau

c) nanocompozit ternar precum nanohornuri carbonice oxidate/materiale carbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic, toate cele trei compoziții având un conținut procentual masiv de material nanocarbonic

cuprins între 75...95% și sunt depuse din soluție apoasă prin metoda " drop casting " pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari sau cu electrozi interdigitați.

Revendicări: 16

Figuri: 5

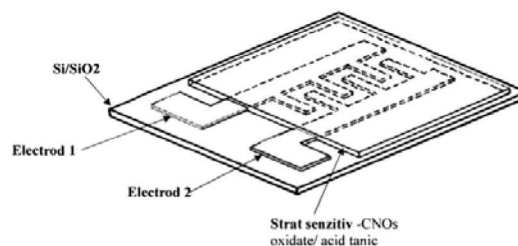


Fig. 5

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



Descriere

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	a 2020 00476
Data depunții	31-07-2020

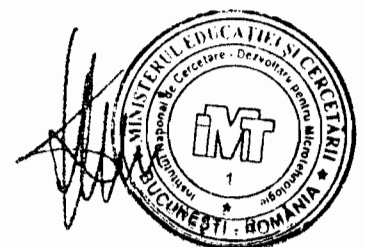
Monitorizarea umidității relative reprezintă un proces esențial în multiple domenii de activitate casnică și industrială, precum controlul calității aerului în spații închise (confort ambiental, detectarea mușcărilor), industria auto, industria textilă și a hârtiei, industria medicală (centre de transfuzie, incinte de sterilizare), agricultură (sere, controlul umidității solului), industria electronică, industria farmaceutică (depozitarea, sinteza și controlul calității medicamentelor), meteorologie (radiosonde, baloane meteorologice), industria chimică, etc. [1, 2]. Astfel, fabricarea și comercializarea senzorilor de umiditate relativă au luat o amploare deosebită în ultimii 20 de ani [3, 4].

Materialele nanocarbonice precum nanotuburile de carbon [5 - 9], fulerenele [10 - 11], grafena [12-15], oxidul de grafenă [16 - 20], nanoparticulele cuantice de carbon [21], nanodiamantul [22- 24], sunt utilizate pe scară largă ca elemente de sensing în designul senzorilor de umiditate.

Brevetul de invenție **US8479560B2** cu titlul "*Differential resonant sensor apparatus and method for detecting relative humidity*" (Cornel Cobianu, Bogdan Serban, Mihai N. Mihailă) se referă la un senzor rezonant diferențial pentru măsurarea umidității relative. Senzorul prezintă un strat sensibil hidrofil precum și un strat de referință ce prezintă proprietăți vâsco-elastice similare cu cele ale stratului sensibil, fără a manifesta, însă, proprietăți hidrofili. Prelucrarea semnalului este asigurată de prezența unui circuit electronic de citire diferențială care este interconectat cu fiecare fascicul rezonant. Astfel, brevetul de invenție revendică filme senzitive (în conjuncție cu straturile de referință) de tipul:

- nanotuburi de carbon sulfonate (strat sensibil hidrofil)/ nanotuburi de carbon (strat de referință). Nanotuburile de carbon utilizate sunt cu un perete sau cu pereți multipli;
- nanotuburi de carbon sulfonate - polistirensulfonatul de sodiu (strat sensibil hidrofil)/nanotuburi de carbon- polistiren (strat de referință);
- nanotuburi de carbon sulfonate -TiO<sub>2</sub> ( strat sensibil hidrofil)/nanotuburi de carbon (strat de referință).

Cererea de brevet de invenție **CN106916489A** cu titlul "*SPS:PEDOT/RGO composite conductive coating prepared by spray printing layer by layer*" (袁妍李聪彭博刘仁) se referă la un senzor rezistiv de umiditate care utilizează ca strat sensibil un nanocompozit RGO (oxid de grafenă redus)-poli(3,4-etilendioxitiofen) polistiren sulfonat (PEDOT:PSS). Substratul este realizat din polietilentereftalat. Nanocompozitul revendicat combină excelențele caracteristici fizico-chimice ale PEDOT:PSS (conductivitate electrică ridicată, rezistență mare la oxidare) cu proprietățile unice ale materialului grafenic, dovedindu-se foarte sensibil în detecția apei.



Brevetul de invenție **US9976975B2** cu titlul "*Method of making thin film humidity sensors*" (Abdullah Mohamed Asiri, Muhammad Tariq Saeed Chani, Sher Bahadar Khan) se referă la un senzor chemirezistiv de umiditate utilizând ca strat senzitiv un compus de tipul ftalocianină, de tipul nichel - fulerenă (NiPc-C60). Substratul folosit este constituit din sticlă, electrozii fiind din aluminiu. Într-o altă procedură, senzorul de umiditate utilizează drept strat senzitiv nanocompozitul ftalocianină de nichel-oxid de grafenă (NiPc-GO).

Nanohornurile carbonice sunt materiale cu o structură tubulară, înrudite cu nanotuburile de carbon [25, 26]. Ele se pot sintetiza prin ablația laser a grafitului. Avantajul sintezei nanohornurilor carbonice, în comparație cu obținereanantotuburilor de carbon, constă în faptul că procesul tehnologic nu necesită prezența unui catalizator metalic. Nanohornurile carbonice oxidate (Fig.1) au un caracter hidrofil, sunt ușor dispersabile în apă și solvenți organici (etanol, alcool izopropilic) și prezintă o suprafață specifică mare (1300-1400 m<sup>2</sup>/g) [27].

În pofida paletii largi de aplicații, există un număr relativ mic de studii privind utilizările nanohornurilor carbonice (simple și oxidate) ca straturi senzitive pentru diverse tipuri de gaze[28].

Cererea de brevet de invenție **RO133637A2** cu titlul "*Senzor de etanol si procedeu de obtinere a acestuia*" ( Bogdan Cătălin Șerban, Octavian Buiu, Cornel Cobianu, Octavian Narcis Ionescu, Dragoș-Alexandru-Cristian Vârșescu, Maria Roxana Marinescu, Niculae Dumbrăvescu) se referă la un senzor rezistiv de etanol utilizând ca straturi senzitive matrice nanocompozite Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/nanohornuri carbonice oxidate, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ nanohomuri carbonice oxidate, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/nanohornuri carbonice oxidate. Rezistența senzorului variază proporțional cu concentrația etanolului în gazul analizat.

Materialele nanocarbonice de tip ceapă ("carbon nano-onions"- CNOs) (Fig. 2) au fost sintetizate în premieră de către Ugarte în 1992 prin iradierea cu electroni a funinginei [29]. Nanodiamantul constituie materia primă cea mai utilizată pentru sinteza CNOs de mici dimensiuni. Nanocepele obtinute prezintă un diametru de circa 5 - 10 nm, randamentul sintezei fiind mare.

Oxidările cu acid azotic diluat sau ozon conduc la formarea unor structuri nanocarbonice de tip ceapă, funcționalizate cu grupări polare de tip carboxil, hidroxil, carbonil (Ox- CNOs) care măresc semnificativ solubilitatea CNOs în solvenți polari precum metanol, apa, tetrahidrofuran. propanol, etc. [30, 31].

De asemenea, polimerii hidrofilii precum polietilenglicolul [32, 33], acidul poliactic [34], polivinilpirolidona [35] au fost utilizați intensiv în proiectarea senzorilor de umiditate.

Nu în ultimul rând, acidul tanic (Fig. 3), un biopolimer polifenolic hidrofil (C<sub>76</sub>H<sub>52</sub>O<sub>46</sub>) a fost utilizat drept strat senzitiv pentru senzorii de umiditate. Lim *et al* [36] au preparat un strat senzitiv de tipul alcool polivinilic (PVA)/ oxid de grafenă redus (RGO)/acid tanic ( TA), utilizat în detectia rezistivă a umidității. Nanocompozitul RGO-TA a fost preparat prin simpla amestecare a oxidului de grafenă cu acidul tanic, realizându-se atât reducerea materialului grafenic, cât și grefarea acidului tanic pe RGO obținut *in situ*. Proprietățile mecanice ale PVA sunt îmbunătățite semnificativ prin adăugarea de rGO-TA, deoarece acidul tanic crește compatibilitatea RGO cu matricea alcoolului polivinilic. Nanocompozitul



PVA/RGO/TA prezintă proprietăți remarcabile de detectare a umidității pe un interval larg, precum și o stabilitate chimică excelentă.

Straturile senzitive descrise în această invenție, utilizate pentru obținerea unor senzori rezistivi de umiditate, sunt nanocompozite binare de tipul: a) nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic; b) materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic sau nanocompozite ternare de tipul nanohornuri carbonice oxidate/ materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic.

Utilizarea nanocompozitelor binare și ternare descrise anterior, depuse ca straturi senzitive prin metoda "drop casting" pe un substrat dielectric de Si/SiO<sub>2</sub>, prezintă câteva avantaje notabile:

- modificarea rapidă a rezistenței stratului senzitiv la variații ale valorii umidității relative;
- îmbunătățirea proprietăților mecanice și procesabilitatea stratului senzitiv;
- prezența materialelor nanocarbonice conferă un raport mare suprafață specifică / volum;
- detecție pe un domeniu larg de temperatură;
- caracterul hidrofîl al acidului tanic, al nanohornurilor carbonice oxidate, precum și al materialelor nanocarbonice oxidate de tip ceapă;
- acidul tanic poate forma legături de hidrogen atât cu substratul hidrofilizat (Si/SiO<sub>2</sub>), cât și cu nanohornurile carbonice oxidate.

Substratul sensorului este realizat din siliciu (470 microni) acoperit cu SiO<sub>2</sub> (1 micron). Electrozii au fost conectați prin depunerea succesivă de Cr (10 nm) și Au (100 nm). Lățimea electrozilor este de aproximativ 200 microni, cu o separare de 6 mm între ele. Ei pot fi liniari (Fig. 4) sau pot avea o configurație interdigitată (Fig. 5). Capacitatea de detectare a umidității relative este investigată prin aplicarea unui curent constant între cei doi electrozi și măsurarea tensiunii la diferite valori ale nivelului de umiditate relativă la care a fost expus stratul sensibil.

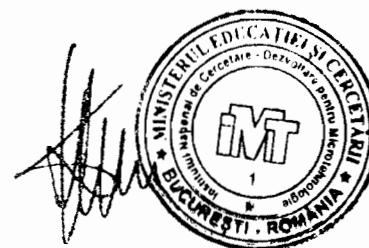
În cele ce urmează se prezintă etapele necesare pentru obținerea straturilor senzitive la umiditate relativă, precum și pentru obținerea senzorilor chemirezistivi de umiditate relativă.

### Exemplul 1

Materiile prime necesare sintezei stratului senzitiv sunt, în primul caz, acidul tanic (Sigma Aldrich), nanohornurile carbonice oxidate (Sigma Aldrich), nanodiamant, apă deionizată, acetonă, etanol.

1) Substratul din Si/SiO<sub>2</sub> este curățat timp de 10 minute în baia de ultrasonare utilizând secvențial volume egale de acetonă, etanol și, în final, apă deionizată.

2) Soluția de acid tanic în apă se prepară prin dizolvarea a 20 mg biopolimer în 100 mL apă deionizată, sub agitare magnetică (10 minute, la temperatura camerei).



- 3) Ulterior, se adaugă soluției preparate anterior 80 mg nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 60 minute, la temperatura camerei.
- 4) Soluția obținută se depune prin metoda "drop casting", utilizând un substrat de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari sau cu electrozi interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte).
- 5) Stratul senzitiv obținut, depus pe substrat, se usucă în etuvă, la 50°C, în vid, timp de 30 minute.

### Exemplul 2

Materiile prime necesare sintezei stratului senzitiv sunt, în primul caz, acidul tanic (Sigma Aldrich), nanodiamant, apă deionizată, acetonă, etanol.

Obținerea stratului senzitiv parcurge următoarele etape:

- 1) Substratul din Si/SiO<sub>2</sub> este curățat timp de 10 minute în baia de ultrasonare utilizând secvențial volume egale de acetonă, etanol și, în final, apă deionizată.
- 2) Materiale nanocarbonice de tip ceapă (CNOs) se sintetizează din nanodiamant, prin tratament termic la 1650°C, în atmosferă de heliu.
- 3) Sinteza materialelor nanocarbonice oxidate (hidrofile) de tip ceapă se realizează prin reacția cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 h. Produsul obținut se spală cu apă deionizată, acetonă, și în final, cu apă deionizată.
- 4) Soluția de acid tanic în apă se prepară prin dizolvarea a 15 mg biopolimer în 10 mL apă deionizată, sub agitare magnetică (3h, la temperatura camerei).
- 5) Se adaugă soluției preparate anterior 85 mg materiale nanocarbonice oxidate (hidrofile) de tip ceapă și se continuă agitarea magnetică timp de 3 ore, la temperatura camerei.
- 6) Soluția obținută se depune prin metoda "drop casting", utilizând un substrat de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari sau cu electrozi interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte).
- 7) Stratul senzitiv obținut, depus pe substrat, se usucă în etuvă, la 50°C, în vid, timp de 60 minute.

### Exemplul 3

Materiile prime necesare sintezei stratului senzitiv sunt, în primul caz, acidul tanic (Sigma Aldrich), nanohornuri carbonice oxidate, materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă, apă deionizată, acetonă, etanol.

Obținerea stratului senzitiv parcurge următoarele etape:

- 1) Substratul din Si/SiO<sub>2</sub> este curățat timp de 10 minute în baia de ultrasonare utilizând secvențial volume egale de acetonă, etanol și, în final, apă deionizată.
- 2) Soluția de acid tanic în apă se prepară prin dizolvarea a 10 mg acid tanic în 10 mL apă deionizată, sub agitare magnetică (3h, la temperatura camerei).
- 3) Se adaugă soluției preparate anterior 45 mg materiale nanocarbonice oxidate (hidrofile) de tip ceapă, 45 mg nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 3 ore, la temperatura camerei.



- 4) Soluția obținută se depune prin metoda "drop casting", utilizând un substrat de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari sau cu electrozi interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte).
- 5) Stratul senzitiv obținut, depus pe substrat, se usucă în etuvă, la 50°C, în vid, timp de 60 minute.



## Referințe

1. Rittersma, Z. M. (2002), Recent achievements in miniaturized humidity sensors—a review of transduction techniques. *Sensors and Actuators A: Physical*, 96(2-3), 196 - 210.
2. Chen, Z., Lu, C. (2005), Humidity sensors: a review of materials and mechanisms. *Sensor Letters*, 3(4), 274 - 295.
3. Lee, C. Y., Lee, G. B. (2005) Humidity sensors: a review. *Sensor Letters*, 3(1-1), 1 – 15.
4. Smith, A. D., Elgammal, K., Niklaus, F., Delin, A., Fischer, A. C., Vaziri, S., Schröder, S. (2015). Resistive graphene humidity sensors with rapid and direct electrical readout. *Nanoscale*, 7(45), 19099-19109.
5. Zhao, Z. G., Liu, X. W., Chen, W. P., & Li, T. (2011). Carbon nanotubes humidity sensor based on high testing frequencies. *Sensors and Actuators A: Physical*, 168(1), 10-13.
6. Huang, J. R., Li, M. Q., & Liu, J. H. (2007). A novel conductive humidity sensor based on field ionization from carbon nanotubes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 133(2), 467-471.
7. Shah, M., Ahmad, Z., Sulaiman, K., Karimov, K. S., & Sayyad, M. H. (2012). Carbon nanotubes' nanocomposite in humidity sensors. *Solid-state Electronics*, 69, 18-21.
8. Shivananju, B. N., Yamdagni, S., Fazuldeen, R., Kumar, A. K. S., Nithin, S. P., Varma, M. M., & Asokan, S. (2014). Highly - sensitive carbon nanotubes coated etched fiber Bragg grating sensor for humidity sensing. *IEEE Sensors Journal*, 14(8), 2615-2619.
9. Feng, Y., Cabezas, A. L., Chen, Q., Zheng, L. R., & Zhang, Z. B. (2012). Flexible UHF resistive humidity sensors based on carbon nanotubes. *IEEE Sensors Journal*, 12(9), 2844-2850.
10. Radeva, E., Georgiev, V., Spassov, L., Koprinarov, N., & Kanev, S. (1997). Humidity adsorptive properties of thin fullerene layers studied by means of quartz micro-balance. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 42(1), 11-13.
11. Li, X., Chen, X., Yu, X., Chen, X., Ding, X., & Zhao, X. (2017). A high-sensitive humidity sensor based on water-soluble composite material of fullerene and graphene oxide. *IEEE Sensors Journal*, 18(3), 962-966.
12. Ali, S., Hassan, A., Hassan, G., Bae, J., & Lee, C. H. (2016). All-printed humidity sensor based on graphene/methyl-red composite with high sensitivity. *Carbon*, 105, 23-32.



13. Choi, S. J., Yu, H., Jang, J. S., Kim, M. H., Kim, S. J., Jeong, H. S., & Kim, I. D. (2018). Nitrogen-Doped Single Graphene Fiber with Platinum Water Dissociation Catalyst for Wearable Humidity Sensor. *Small*, 14(13), 1703934.
14. Pang, Y., Jian, J., Tu, T., Yang, Z., Ling, J., Li, Y., ... & Ren, T. L. (2018). Wearable humidity sensor based on porous graphene network for respiration monitoring. *Biosensors and Bioelectronics*, 116, 123-129.
15. Chen, M. C., Hsu, C. L., & Hsueh, T. J. (2014). Fabrication of humidity sensor based on bilayer graphene. *IEEE Electron Device Letters*, 35(5), 590-592.
16. Su, P. G., & Lu, Z. M. (2015). Flexibility and electrical and humidity-sensing properties of diamine-functionalized graphene oxide films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 211, 157-163.
17. Borini, S., White, R., Wei, D., Astley, M., Haque, S., Spigone, E., Ryhanen, T. (2013). Ultrafast graphene oxide humidity sensors. *ACS Nano*, 7(12), 11166 - 11173.
18. Yuan, Z., Tai, H., Ye, Z., Liu, C., Xie, G., Du, X., & Jiang, Y. (2016). Novel highly sensitive QCM humidity sensor with low hysteresis based on graphene oxide (GO)/poly (ethyleneimine) layered film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 234, 145-154.
19. Gao, R., Lu, D. F., Cheng, J., Jiang, Y., Jiang, L., & Qi, Z. M. (2016). Humidity sensor based on power leakage at resonance wavelengths of a hollow core fiber coated with reduced graphene oxide. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 222, 618-624.
20. Wang, Y., Shen, C., Lou, W., & Shentu, F. (2016). Fiber optic humidity sensor based on the graphene oxide/PVA composite film. *Optics Communications*, 372, 229-234.
21. Zhang, X., Ming, H., Liu, R., Han, X., Kang, Z., Liu, Y., & Zhang, Y. (2013). Highly sensitive humidity sensing properties of carbon quantum dots films. *Materials Research Bulletin*, 48(2), 790 - 794.
22. Yu, X., Chen, X., Ding, X., Chen, X., Yu, X., & Zhao, X. (2019). High-sensitivity and low-hysteresis humidity sensor based on hydrothermally reduced graphene oxide/nanodiamond. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 283, 761-768.
23. Yu, X., Chen, X., Li, H., & Ding, X. (2018). A high-stability QCM Humidity sensor coated with nanodiamond/multiwalled carbon nanotubes nanocomposite. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 17(3), 506-512.
24. Yu, X., Chen, X., Yu, X., Chen, X., Ding, X., & Zhao, X. (2019). Flexible Wearable Humidity Sensor Based on Nanodiamond With Fast Response. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 66(4), 1911-1916.





25. Iijima, S., Ichihashi, T. (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, 363(6430), 603.
26. Zhu, S., & Xu, G. (2010). Single-walled carbon nanohorns and their applications. *Nanoscale*, 2(12), 2538 - 2549.
27. Cioffi, C., Campidelli, S., Brunetti, F. G., Meneghetti, M., & Prato, M. (2006). Functionalisation of carbon nanohorns. *Chemical Communications*, (20), 2129 - 2131.
28. Serban, B. C., Buiu, O., Dumbravescu, N., Cobianu, C., Avramescu, V., Brezeanu, M., ... & Nicolescu, C. M. (2020). Oxidized Carbon Nanohorns as Novel Sensing Layer for Resistive Humidity Sensor. *Acta Chimica Slovenica*.
29. Ugarte, D. (1992). Curling and closure of graphitic networks under electron-beam irradiation. *Nature*, 359 (6397), 707 – 709.
30. Bartelmess J, Giordani S. Carbon nano-onions (multilayer fullerenes): Chemistry and applications. *Beilstein J Nanotechnol*. 2014;5:1980–8.
31. Plonska-Brzezinska, M. E., Lapinski, A., Wilczewska, A. Z., Dubis, A. T., Villalta-Cerdas, A., Winkler, K., & Echegoyen, L. (2011). The synthesis and characterization of carbon nano-onions produced by solution ozonolysis. *Carbon*, 49(15), 5079-5089.
32. Acikgoz, S., Bilen, B., Demir, M. M., Menciloglu, Y. Z., Skarlatos, Y., Aktas, G., & Inci, M. N. (2008). Use of polyethylene glycol coatings for optical fibre humidity sensing. *Optical review*, 15(2), 84.
33. Biju, K. P., & Jain, M. K. (2007). Effect of polyethylene glycol additive in sol on the humidity sensing properties of a TiO<sub>2</sub> thin film. *Measurement Science and Technology*, 18(9), 2991.
34. Sajid, M., Kim, H. B., Yang, Y. J., Jo, J., & Choi, K. H. (2017). Highly sensitive BEHP-co-MEH: PPV+ Poly (acrylic acid) partial sodium salt based relative humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 246, 809-818.
35. Azmer, M. I., Zafar, Q., Ahmad, Z., & Sulaiman, K. (2016). Humidity sensor based on electrospun MEH-PPV: PVP microstructured composite. *RSC advances*, 6(42), 35387-35393.
36. Lim, M. Y., Shin, H., Shin, D. M., Lee, S. S., & Lee, J. C. (2016). Poly (vinyl alcohol) nanocomposites containing reduced graphene oxide coated with tannic acid for humidity sensor. *Polymer*, 84, 89-98.



## Revendicări

1. Senzor rezistiv de monitorizare a umidității relative **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un substrat dielectric, electrozi metalici și un strat senzitiv constituit dintr-un film subțire de nanocompozit binar precum : a) nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic; b) materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic sau c) nanocompozit ternar precum nanohornuri carbonice oxidate/materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic.
2. Substratul dielectric utilizat în condițiile revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** poate fi construit din siliciu (470 microni) acoperit cu SiO<sub>2</sub> (1 micron).
3. Electrozii utilizați în condițiile revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** se depun pe suprafața substratului dielectric prin printare directă, pulverizare catodică sau evaporare.
4. Electrozii utilizați în condițiile revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** pot fi constituiți din același material (aur, crom) sau din materiale diferite.
5. Electrozii utilizați în condițiile revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** pot fi liniari sau pot avea o configurație interdigitată.
6. Stratul senzitiv de tipul nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** are un conținut procentual masic de material nanocarbonic ce variază între 75 și 95%.
7. Stratul senzitiv de tipul nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda "drop casting" pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari.
8. Stratul senzitiv de tipul nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda "drop casting" pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi interdigați.
9. Stratul senzitiv de tipul materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** are un conținut procentual masic de material nanocarbonic ce variază între 75 și 95%.
10. Stratul senzitiv de tipul materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda "drop casting" pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari.
11. Stratul senzitiv de tipul materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda drop casting pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi interdigați.
12. Stratul senzitiv format din nanocompozitul ternar nanohornuri carbonice oxidate/materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** are un conținut procentual masic de material nanocarbonic ce variază între 75 și 95%.



7

13. Stratul senzitiv format din nanocompozitul ternar nanohornuri carbonice oxidate/materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** cele două materiale nanocarbonice se află în proporții chimice.

14. Stratul senzitiv format din nanocompozitul ternar nanohornuri carbonice oxidate/materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda "drop casting" pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi liniari.

15. Stratul senzitiv format din nanocompozitul ternar nanohornuri carbonice oxidate/materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă /acid tanic, utilizat în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se depune din soluție apoasă prin metoda "drop casting" pe substratul de Si/SiO<sub>2</sub> cu electrozi interdigitați.

16. Utilizarea senzorilor chemorezistivi obținuți în condițiile revendicărilor 7 - 15 la monitorizarea umidității relative **se caracterizează prin aceea că** se aplică o tensiune între doi electrozi și se măsoară curentul electric care traversează stratul senzitiv la diverse valori ale umidității.



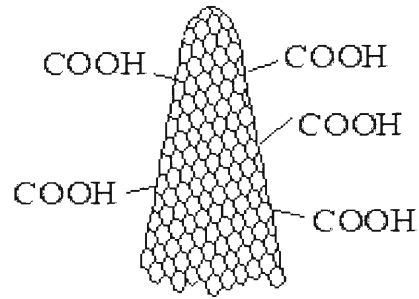


Fig. 1

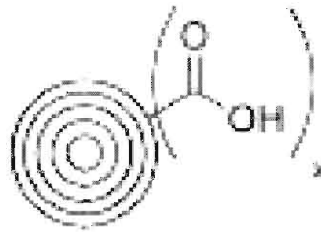


Fig. 2

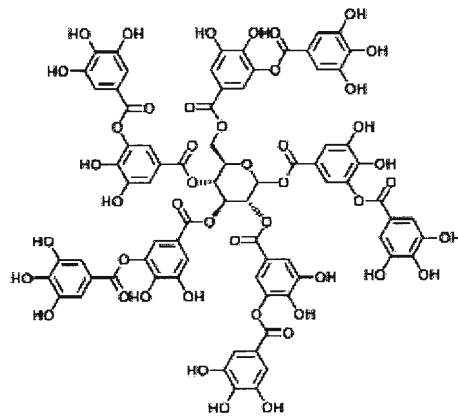


Fig. 3

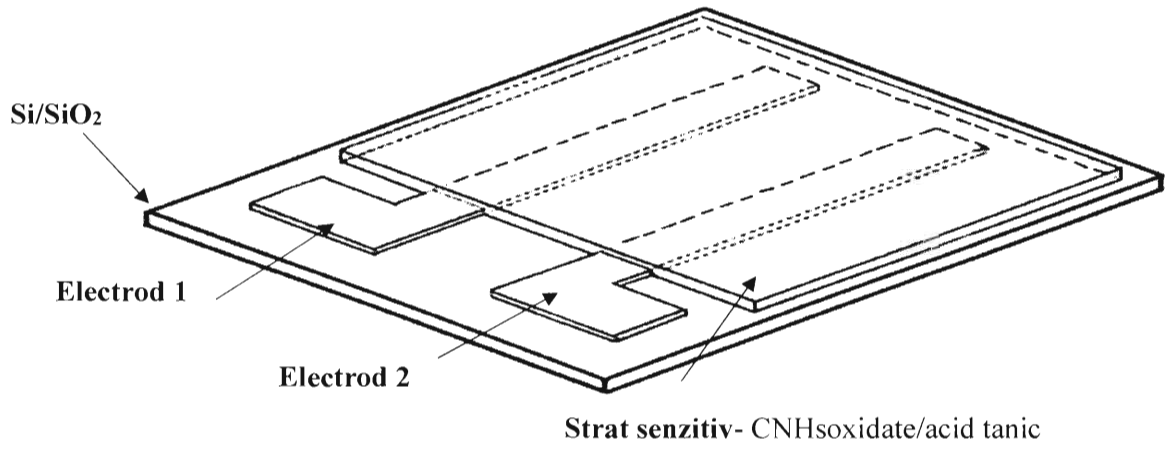


Fig. 4

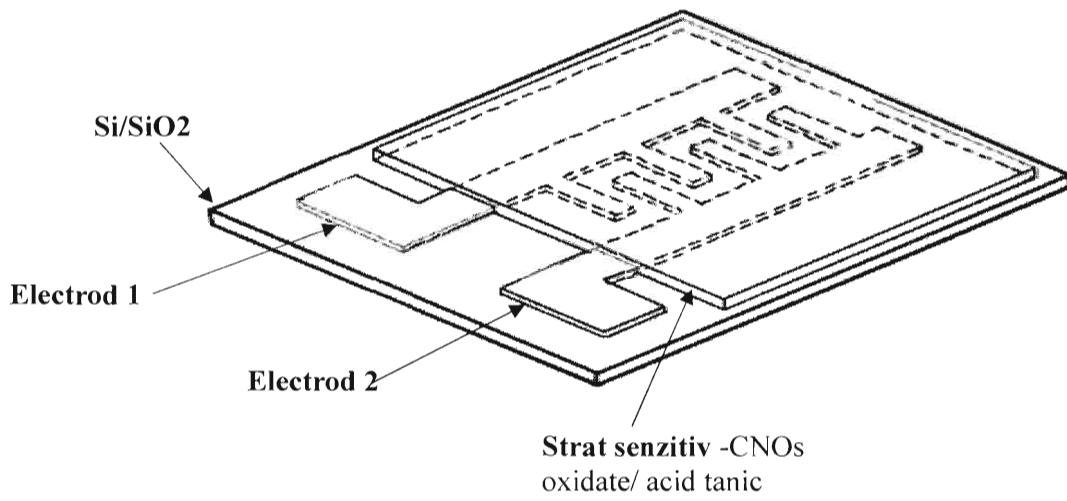


Fig. 5