

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00439

(22) Data de depozit: 22/07/2019

(41) Data publicării cererii:
29/01/2021 BOPi nr. 1/2021

(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.32 A, BL.PM70,
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;
• AVRAMESCU VIOREL MARIAN,
STR. AGRICULTORI NR.119, BL.80, SC.A,
ET.6, AP.28, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• DUMBRĂVESCU NICULAE,
STR. AGATHA BĂRSESCU NR. 18,
BL. V30B, SC. 2, AP. 39, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO;
• MARINESCU MARIA ROXANA,
ȘOS.IANCULUI NR.68, ET.1, AP.2,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SENZOR DE UMIDITATE CU UNDE ACUSTICE
DE SUPRAFAȚĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor de umiditate cu unde acustice de suprafață utilizat pentru monitorizarea umidității în diverse domenii de activitate casnică și industrială, cum sunt industria textilă și a hârtiei, în domeniul medical cum sunt centrele de transfuzie și incintele de sterilizare, în meteorologie, în industria farmaceutică, în agricultură la controlul umidității solului și a umidității silozurilor, în industria alimentară la monitorizarea umidității spațiilor de producție și de depozitare și în altele asemenea. Senzor de umiditate conform invenției este preparat dintr-un strat senzitiv polivinilpirolidonă/oxid de grafenă/nanohornuri carbonice oxidate hidrofili, având un conținut procentual masic de oxid de grafenă care variază între 10...20% și un conținut procentual masic de nanohornuri carbonice oxidate care variază între 0,5...15%, oxidul de grafenă utilizat are un conținut procentual masic de oxigen care variază între 20...45%, iar nanohornurile carbonice oxidate se sintetizează prin tratamentul nanohornurilor carbonice simple în plasmă de oxigen cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 ore.

Revendicări: 10
Figuri: 3

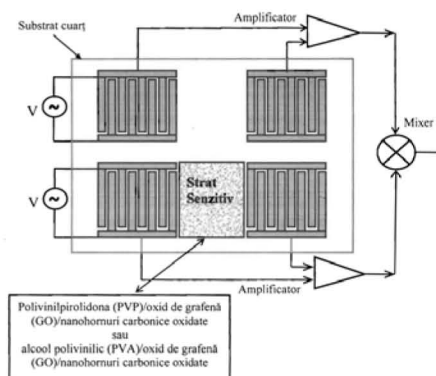


Fig. 3

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).



Senzor de umiditate cu unde acustice de suprafață

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a	2019 00439
Data depozit	22-07-2019

Descriere

Monitorizarea umidității relative reprezintă un proces esențial în diverse domenii de activitate casnică și industrială, precum industria textilă și a hârtiei, domeniul medical (centre de transfuzie, incinte de sterilizare), controlul calității aerului în spații închise, meteorologie (radiosonde, baloane meteorologice), industria farmaceutică (sinteza și controlul calității medicamentelor), agricultura (silozuri, controlul umidității solului), industria alimentară (spații de producție și stocare a alimentelor), etc. [1 - 3].

Senzorii gravimetrice cu unde acustice de suprafață ("surface acoustic wave" - SAW) reprezintă una dintre familiile de senzori cele mai utilizate pentru măsurarea umidității [4]. Acești senzori prezintă sensibilitate ridicată, stabilitate în timp, reproductibilitate bună, dimensiuni reduse, fiabilitate foarte bună și un cost de producție rezonabil.

Printre materialele utilizate ca straturi senzitive în proiectarea senzorilor de umiditate de tip SAW se pot menționa polimerii hidrofilii de tip alcool polivinilic [5, 6], polivinilpirolidona [7, 8], oxizii de metale semiconductori precum ZnO [9] sau grafena [10].

Oxidul de grafenă (abreviat GO) (Fig. 1) reprezintă, din punct de vedere structural, un singur strat monomolecular de grafit funcționalizat cu grupări epoxidice, carbonil, carboxil și hidroxil. Datorită proprietăților sale remarcabile, precum și a faptului ca se poate dispersa relativ ușor în apă și solvenți organici, oxidul de grafenă a fost utilizat intensiv în ultimii ani în detecția de gaze [11 - 21]. GO prezintă, de asemenea, o capacitate excelentă de detectare a umidității datorită raportului mare dintre suprafață și volum și a grupărilor funcționale hidrofile [22 - 28].

Cererea de brevet de invenție **US 2017/ 0176370A1** cu titlul "Graphene oxide sensors" (Luis Fernando Velasquez - Garcia) se referă la un senzor de umiditate de tip chemirezistiv care are un strat senzitiv pe bază de oxid de grafenă (nanofulgi). Conținutul de oxigen al oxidului de grafenă utilizat ca strat senzitiv variază între 1% și 50% (procente de masă). Alte straturi senzitive revendicate în acest patent sunt amestecurile binare de oxizi de grafenă al căror conținut de oxigen diferă (de exemplu, oxid de grafenă cu un conținut procentual masic de oxigen mai mare sau egal cu 1% în greutate, în amestec cu oxid de grafenă cu un conținut procentual masic de oxigen mai mic sau egal cu 50%). Stratul senzitiv se depune prin metoda electrospray pe un substrat care are o temperatură cu cel puțin 15 grade mai mare decât temperatura soluției.

Cererea de brevet de invenție **CN108680199A** cu titlul "Surface acoustic wave temperature and humidity sensor" (赵宇赵一字刘宇鹏张志彦) se referă la un senzor de umiditate și temperatură cu unde acustice de suprafață. Stratul senzitiv poate fi SiO₂ poros, poliimidă sau oxid de grafenă. Interacția moleculelor de apă cu oxidul de grafenă modifică proprietățile mecanice și electrice ale acestuia, ceea ce conduce la schimbarea vitezei de propagare și a frecvenței undei acustice de suprafață.

Cererea de brevet de invenție **CN106153688A** cu titlul "Compound used for humidity sensor and preparation method thereof" (林朝晖) se referă la un senzor de umiditate care utilizează ca strat senzitiv un nanocompozit de tip dioxid de staniu-grafenă ($\text{SnO}_2@G$) acoperit cu oxid de grafenă.

Din punct de vedere al principiului de măsură, interacția moleculelor de apă cu stratul senzitiv duce la o schimbare a valorii impedanței. Senzorul revendicat prezintă sensibilitate ridicată precum și un răspuns rapid.

Brevetul de invenție **KR101710798B1** cu titlul "High-performance moisture sensor based on ultralarge graphene oxide" (홍종달 위분홍) se referă la un senzor conductometric de umiditate utilizând oxidul de grafenă ultralarg ("ultralarge graphene oxide"). În comparație cu oxidul de grafenă convențional, de dimensiuni reduse (SGO), utilizarea oxidului de grafenă ultralarg permite obținerea unei sensibilități mai bune.

Nanohornurile carbonice sunt materiale cu o structură tubulară, înrudite cu nanotuburile de carbon [29]. Nanohornurile carbonice pot fi oxidate în aer [30], prin tratare cu acizi [31] sau apă oxigenată [32], obținându-se nanohornuri carbonice cu grupări carboxilice (Fig. 2).

Aceste materiale au un caracter hidrofil și sunt ușor dispersabile în apă și solvenți organici precum etanol, alcool izopropilic, etc. În pofida aplicațiilor vaste, nanohornurile carbonice au fost relativ puțin studiate ca straturi sensitive în designul senzorilor de gaze [33].

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția prezentă constă în obținerea de noi straturi sensitive la variația valorii umidității relative utilizând structuri de senzori de tip SAW (unde acustice de suprafață).

Straturile sensitive descrise în această invenție, utilizate pentru obținerea unor senzori de umiditate relativă sunt nanocompozite de tip *polivinilpirolidonă (PVP)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)*, respectiv *alcool polivinilic (PVA)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)*.

Sinteza nanohornurilor carbonice hidrofile se realizează prin două metode diferite, utilizând tratamentul în plasmă de oxigen, respectiv oxidarea cu HNO_3 . Tratamentul în plasmă asigură hidrofilizarea nanohornurilor carbonice prin grefarea de grupări de tip carboxil, carbonil, hidroxil și epoxi. Gradul optim de hidrofilizare al materialelor nanocarbonice (conținutul procentual masic de oxigen) în vederea obținerii unei sensibilități adecvate, poate fi controlat prin schimbarea puterii plasmei precum și a timpului de expunere.

Filmele sensitive descrise în această invenție se utilizează în designul unui senzor cu unde acustice de suprafață (SAW). Un dispozitiv cu unde acustice de suprafață este constituit, în genere, dintr-un substrat piezoelectric (cuarț, LiTaO_3 , etc.), o pereche de traductori interdigitali și un film sensibil pentru analitul ce urmează a fi detectat (monitorizat). Semnalul electric, aplicat unuia dintre traductori, generează o undă acustică de suprafață care se propagă către celălalt traductor, unda mecanică fiind convertită în semnal electric.

Straturile sensitive de tipul *polivinilpirolidonă (PVP)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)*, respectiv *alcool polivinilic (PVA)/oxid de grafenă*



(GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile) interacționează cu moleculele de apă. Adsorbția și absorbția moleculelor de apă (datorate atât polimerilor hidrofilii de tip polivinilpirolidonă, alcool polivinilic, cât și structurilor nanocarbonice hidrofile de tip oxid de grafenă și nanohornuri carbonice oxidate, modifică proprietățile mecanice și electrice ale stratului senzitiv (efectele de “mass loading”, “elastic loading” și “electrical loading”), ceea ce conduce la schimbarea vitezei de propagare și a frecvenței undei acustice de suprafață. Modificarea vitezei și a frecvenței undei acustice este corelată cu cantitatea de apă ad/absorbită în stratul senzitiv.

Senzorul utilizat este de tip „linie de întârziere” (delay line), dual, realizat pe un substrat piezoelectric de cuarț (Fig. 3). Senzorul prezintă o linie dublă de întârziere pentru a compensa driftul termic. Astfel, o linie de întârziere este acoperită cu stratul senzitiv, cea de-a doua linie de întârziere fiind cuarțul propriu-zis (substratul piezoelectric fără strat senzitiv) [37]. Pentru a obține un semnal datorat exclusiv interacției chimice strat senzitiv - analit, semnalul asociat liniei de întârziere fără strat senzitiv poate fi scăzut din semnalul liniei de întârziere acoperită cu strat senzitiv (schema diferențială).

Utilizarea filmelor de tip polivinilpirolidonă (PVP)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile) respectiv alcool polivinilic (PVA/oxid de grafenă - GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile) conferă senzorerului câteva avantaje semnificative:

- proprietăți mecanice superioare, asigurate de prezența în film a oxidului de grafenă, precum și a nanohornurilor carbonice oxidate;
- prezența oxidului de grafenă și a nanohornurilor carbonice oxidate conferă suprafață specifică mare, afinitate pentru moleculele de apă (“mass loading”), precum și o variație a rezistenței stratului senzitiv la contactul cu acestea (“electric loading”);
- polivinilpirolidona și alcoolul polivinilic sunt polimeri hidrofilii;
- polivinilpirolidona este benefică în formarea și consolidarea stratului senzitiv (proprietăți de “film former”);
- răspunsul rapid al senzorerului la variații ale valorii umidității relative.

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

Exemplul 1

Etapele necesare obținerii stratului senzitiv de tip polivinilpirolidona (PVP)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile) sunt următoarele:

1. Soluția de polivinilpirolidonă în apă se prepară prin dizolvarea a 1 g polimer ($M_w=29.000$ Da) în 50 mL apă deionizată, sub agitare magnetică (timp de o oră, la temperatura de 50°C).
2. Sinteza nanohornurilor carbonice oxidate (hidrofile) se realizează prin reacția cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 h. Produsul obținut se spală cu etanol, acetonă și apă deionizată.



3. Ulterior se adaugă soluției preparate anterior 0,1 g nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 2 ore, la temperatura de 70°C.
4. Soluției preparate anterior i se adaugă 50 mL dispersie apoasă de oxid de grafenă (2mg/mL) și se continuă agitarea magnetică timp de 3 ore, la temperatura camerei.
5. Soluția obținută se depune prin metoda spin coating pe substratul de cuarț (2000 rpm, timp de 60 s)
6. Filmul obținut se supune încălzirii la 80°C, timp de 15 minute.

Exemplul 2

Etapele necesare obținerii stratului sensibil de tip *alcool polivinilic (PVA)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)* sunt următoarele:

1. Soluția de alcool polivinilic în apă se prepară prin dizolvarea a 1 g polimer ($M = 10.000$ Da) în 100 ml apă deionizată, sub agitare magnetică (1 h, la temperatura de 70°C).
2. Sinteza nanohornurilor carbonice oxidate (hidrofile) se realizează prin reacția cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 h. Produsul obținut se spală cu etanol, acetonă și apă deionizată.
3. Ulterior se adaugă soluției preparate anterior 0,1 g nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 2 ore, la temperatura de 70°C.
4. Soluției preparate anterior i se adaugă 60 mL dispersia apoasă de oxid de grafenă (2mg/mL) și se continuă agitarea magnetică timp de 3 ore, la temperatura camerei.
5. Soluția obținută se depune prin metoda spin coating pe substratul de cuarț (3000 rpm, timp de 50 s).
6. Filmul obținut se supune încălzirii la 80°C, timp de 15 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, J. P., & Hinson-Smith, V. (2006). The new era of SAW devices. Commercial SAW sensors move beyond military and security applications. *Anal Chem.* Jun 1;78(11):3505 – 3507.
5. Penza, M., & Cassano, G. (2000). Relative humidity sensing by PVA-coated dual resonator SAW oscillator. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 68(1-3), 300 - 306.
6. Penza, M., & Anisimkin, V. I. (1999). Surface acoustic wave humidity sensor using polyvinyl-alcohol film. *Sensors and Actuators A: Physical*, 76(1-3), 162 - 166.
7. Buvailo, A., Xing, Y., Hines, J., & Borguet, E. (2011). Thin polymer film based rapid surface acoustic wave humidity sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 156(1), 444 - 449.
8. Liu, Y., Huang, H., Wang, L., Cai, D., Liu, B., Wang, D., Wang, T. (2016). Electrospun CeO₂ nanoparticles/PVP nanofibers based high-frequency surface acoustic wave humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 223, 730 - 737.
9. He, X. L., Li, D. J., Zhou, J., Wang, W. B., Xuan, W. P., Dong, S. R., Luo, J. K. (2013). High sensitivity humidity sensors using flexible surface acoustic wave devices made on nanocrystalline ZnO/polyimide substrates. *Journal of Materials Chemistry C*, 1(39), 6210 - 6215.
10. Čiplys, D., Rimeika, R., Chivukula, V., Shur, M. S., Kim, J. H., & Xu, J. M. (2010). Surface acoustic waves in graphene structures: response to ambient humidity. *Proceedings of the 2010 IEEE Sensors*, 785 - 788.
11. Lu, G., Ocola, L. E. & Chen, J. (2009), Reduced graphene oxide for room-temperature gas sensors. *Nanotechnology* 20, 445502.
12. Basu, S., & Bhattacharyya, P. (2012). Recent developments on graphene and graphene oxide based solid state gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 173, 1 - 21.
13. Deng, S., Tjoa, V., Fan, H. M., Tan, H. R., Sayle, D. C., Olivo, M., Sow, C. H. (2012). Reduced graphene oxide conjugated Cu₂O nanowire mesocrystals for high-performance NO₂ gas sensor. *Journal of the American Chemical Society*, 134(10), 4905 - 4917.



14. Lu, G., Ocola, L. E., & Chen, J. (2009). Gas detection using low-temperature reduced graphene oxide sheets. *Applied Physics Letters*, 94(8), 083111.
15. Mao, S., Cui, S., Lu, G., Yu, K., Wen, Z., & Chen, J. (2012). Tuning gas-sensing properties of reduced graphene oxide using tin oxide nanocrystals. *Journal of Materials Chemistry*, 22(22), 11009 - 11013.
16. Huang, X., Hu, N., Gao, R., Yu, Y., Wang, Y., Yang, Z., Zhang, Y. (2012). Reduced graphene oxide-polyaniline hybrid: preparation, characterization and its applications for ammonia gas sensing. *Journal of Materials Chemistry*, 22(42), 22488 - 22495.
17. Toda, K., Furue, R., & Hayami, S. (2015). Recent progress in applications of graphene oxide for gas sensing: a review. *Analytica Chimica Acta*, 878, 43 - 53.
18. Liu, S., Yu, B., Zhang, H., Fei, T., & Zhang, T. (2014). Enhancing NO₂ gas sensing performances at room temperature based on reduced graphene oxide-ZnO nanoparticles hybrids. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 202, 272 - 278.
19. Robinson, J. T., Perkins, F. K., Snow, E. S., Wei, Z., & Sheehan, P. E. (2008). Reduced graphene oxide molecular sensors. *Nano Letters*, 8(10), 3137 - 3140.
20. Zhang, H., Feng, J., Fei, T., Liu, S., & Zhang, T. (2014). SnO₂ nanoparticles-reduced graphene oxide nanocomposites for NO₂ sensing at low operating temperature. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 190, 472 - 478.
21. Prezioso, S., Perrozzi, F., Giancaterini, L., Cantalini, C., Treossi, E., Palermo, V., Ottaviano, L. (2013). Graphene oxide as a practical solution to high sensitivity gas sensing. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117(20), 10683 - 10690.
22. Bi, H., Yin, K., Xie, X., Ji, J., Wan, S., Sun, L., Dresselhaus, M. S. (2013). Ultrahigh humidity sensitivity of graphene oxide. *Scientific Reports*, 3, 2714.
23. 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.
24. Xuan, W., He, M., Meng, N., He, X., Wang, W., Chen, J., & Luo, J. K. (2014). Fast response and high sensitivity ZnO/glass surface acoustic wave humidity sensors using graphene oxide sensing layer. *Scientific Reports*, 4, 7206.
25. Sun, C., Shi, Q., Yazici, M., Lee, C., & Liu, Y. (2018). Development of a Highly Sensitive Humidity Sensor Based on a Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer Array Functionalized with Graphene Oxide Thin Film. *Sensors*, 18(12), 4352.
26. Kuznetsova, I. E., Anisimkin, V. I., Gubin, S. P., Tkachev, S. V., Kolesov, V. V., Kashin, V. V., Sun, S. (2017). Super high sensitive plate acoustic wave humidity sensor based on graphene oxide film. *Ultrasonics*, 81, 135 - 139.



27. Naik, G., & Krishnaswamy, S. (2016). Room-temperature humidity sensing using graphene oxide thin films. *Graphene*, 5(1), 1-13.
28. Balashov, S. M., Balachova, O. V., Braga, A. V. U., Pavani Filho, A., & Moshkalev, S. (2015). Influence of the deposition parameters of graphene oxide nanofilms on the kinetic characteristics of the SAW humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 217, 88 - 91.
29. S. Iijima *et al.* (1999), Nano-aggregates of single-walled graphitic carbon nano-horns, *Chemical Physics Letters*, 309 3-4, 165 - 170.
30. Fan, J. Yudasaka, M. Miyawaki, J. Ajima, K. Murata, K. Iijima, S. (2006), Control of Hole Opening in Single-Wall Carbon Nanotubes and Single-Wall Carbon Nanohorns Using Oxygen, *J. Phys. Chem. B*, 110, 1587 – 1591.
31. Yuge, R. Ichihashi, T. Shimakawa, Y. Kubo, Y. Yudasaka, M. Iijima, S. (2004), Preferential Deposition of Pt Nanoparticles Inside Single-Walled Carbon Nanohorns, *Adv. Mater.*, 16, 1420.
32. Zhang, M. Yudasaka, M. Ajima, K. Miyawaki, J. Iijima, S. (2007), Light – Assisted Oxidation of Single-Wall Carbon Nanohorns for Abundant Creation of Oxygenated Groups That Enable Chemical Modifications with Proteins to Enhance Biocompatibility, *ACS Nano*, 1, 265.
33. N. Sano et al (2007), Gas sensor using single-wall carbon nanohorns, *Advanced Power Technology*, 18(4), p 455 - 466.

A handwritten signature in black ink is located in the bottom right corner of the page. To the left of the signature is a faint, circular stamp or seal, which is mostly illegible due to fading.

Revendicări

1. Procedeu de preparare a unui nou strat senzitiv *polivinilpirolidonă (PVP)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)* **caracterizat prin aceea că** are un conținut procentual masic de oxid de grafenă ce variază între 10 și 20 %, precum și un conținut procentual masic de nanohornuri carbonice oxidate ce variază între 0,5 și 15%.
2. Oxidul de grafenă utilizat în condițiile revendicării 1 are un conținut procentual masic de oxigen ce variază între 20 și 45%.
3. Nanohornurile carbonice oxidate, utilizate în condițiile revendicării 1, **se caracterizează prin aceea că** se sintetizează prin tratamentul nanohornurilor carbonice simple cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 h.
4. Nanohornurile carbonice oxidate, utilizate în condițiile revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** se sintetizează prin tratamentul nanohornurilor carbonice simple în plasmă de oxigen.
5. Procedeu de preparare a unui nou strat senzitiv *alcool polivinilic (PVA)/oxid de grafenă (GO)/nanohornuri carbonice oxidate (hidrofile)* **caracterizat prin aceea că** are un conținut procentual masic de oxid de grafenă ce variază între 10 și 20%, precum și un conținut procentual masic de nanohornuri carbonice oxidate ce variază între 0,5 și 15%.
6. Oxidul de grafenă utilizat în condițiile revendicării 5 are un conținut procentual masic de oxigen ce variază între 25 și 50%.
7. Nanohornurile carbonice oxidate, utilizate în condițiile revendicării 5 **se caracterizează prin aceea că** se sintetizează prin tratamentul nanohornurilor carbonice simple cu acid azotic 3M, la reflux, timp de 48 h.
8. Nanohornurile carbonice oxidate, utilizate în condițiile revendicării 5 **se caracterizează prin aceea că** se sintetizează prin tratamentul nanohornurilor carbonice simple în plasmă de oxigen.
9. Straturile senzitive descrise în condițiile revendicărilor 1 și 5 se depun prin metoda spin coating pe un substrat de cuarț.
10. Straturile senzitive descrise în condițiile revendicărilor 9 se utilizează în senzori de tip SAW pentru monitorizarea umidității relative.



Desene

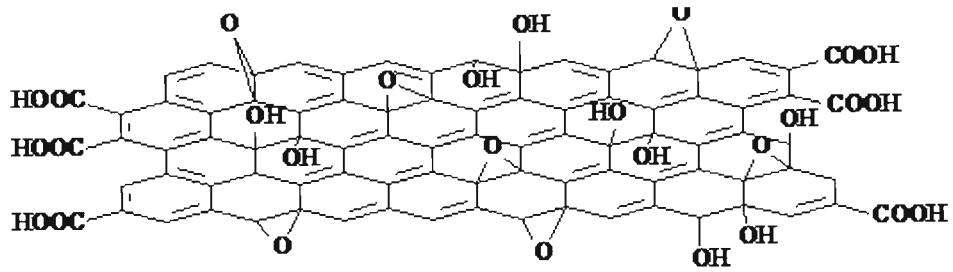


Fig. 1

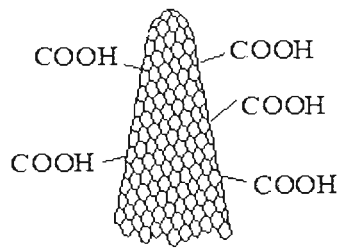


Fig. 2

A handwritten signature is present in the bottom right corner of the page, accompanied by a circular official stamp or seal.

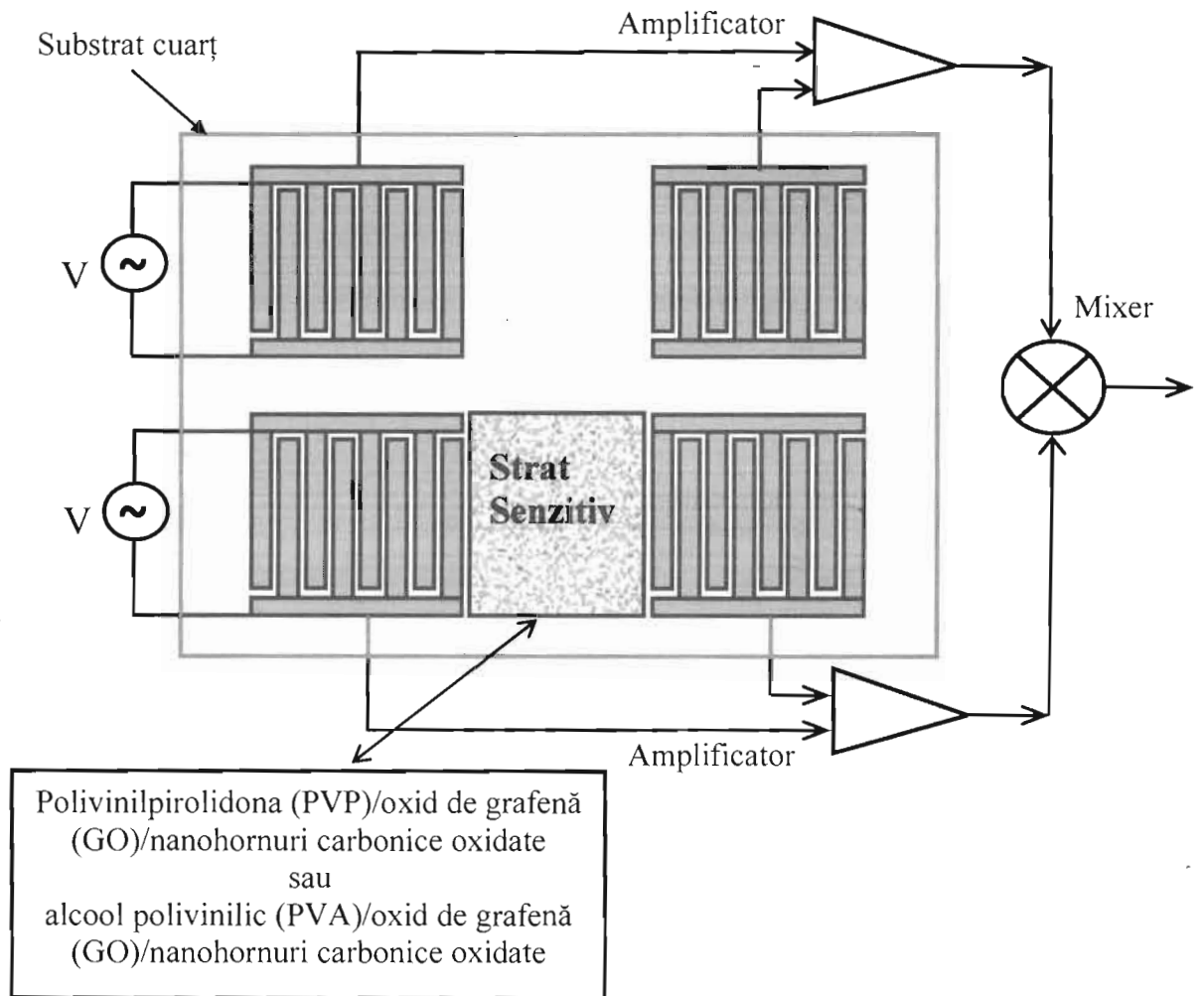


Fig. 3

