

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00355

(22) Data de depozit: 23/06/2022

(41) Data publicării cererii:
29/12/2023 BOPI nr. 12/2023

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "VALAHIA" DIN
TÂRGOVIȘTE, BD. REGELE CAROL I NR. 2,
TÂRGOVIȘTE, DB, RO;
• 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,
SC.2, ET.4, AP.80, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO;
• BIU OCTAVIAN, STR. CETATEA DE
BALTĂ NR.26, BL.P10, SC.E, ET.1, AP.72,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• BUMBAC MARIUS,
STR. GRIGORE BĂLEANU, NR.106, SAT
BĂLENI ROMÂNI, COMUNA BĂLENI, DB,
RO;
• NICOLESCU CRISTINA MIHAELA,
STR.SOARELUI, NR.17, TÂRGOVIȘTE, DB,
RO

(54) NANOhibRID TERnar PENTRU MONITORIZAREA
REZISTIVĂ UMIDITĂȚII RELATIVE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor chemirezistiv pe bază de nanohibrid ternar pentru monitorizarea umidității relative în domeniul casnic sau industrial ca de exemplu în industria textilă și a hârtiei, în domeniul medical la centrele de transfuzie și în incintele de sterilizare, în industria electronică, în industria alimentară, în industria farmaceutică și în alte domenii. Senzorul chemirezistiv conform invenției este constituit dintr-un substrat dielectric realizat din Si/SiO₂, sticlă sau poliimidă, cu o grosime cuprinsă între 50 μm și 5 mm, pe care se depun doi electrozi metalici, cu configurație liniară sau interdigitată, din Cr sau Au sau din materiale diferite, prin printare directă, pulverizare catodică sau evaporare, iar peste substratul dielectric cu electrozi metalici se depune un strat senzitiv, constituit dintr-un film subțire de nanohibrid ternar de tipul nanohornuri carbonice oxidate ox - CNHs/clorură de potasiu KCl/polivinilpirolidonă PVP, depus din soluție de alcool izopropilic prin metoda picurării " drop casting ", procentul masic de ox - CNHs în stratul senzitiv variind între 60...70%, iar procentul masic de KCl între 10...20%.

Revendicări: 7
Figuri: 4

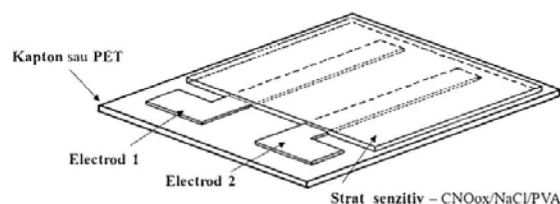


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, 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).



Descrierea invenției

Nanohibrid ternar pentru monitorizarea rezistivă a umidității relative

Monitorizarea umidității relative reprezintă un proces esențial în multiple domenii de activitate casnică și industrială, precum controlul calității aerului în spații închise, industria textilă și a hârtiei, domeniul medical (centre de transfuzie, incinte de sterilizare sterilizatoare), industria electronică (camere albe), industria alimentară (depozitarea alimentelor uscate pe perioade lungi de timp), industria farmaceutică (depozitarea, sinteza și controlul calității medicamentelor), agricultura (silozuri, controlul umidității solului), industria chimică (uscătoare, cuptoare), meteorologie (radiosonde, baloane meteorologice), etc. Astfel, datorită multitudinii de aplicații, piața senzorilor de umiditate a cunoscut în ultimii ani o creștere substanțială [1-7].

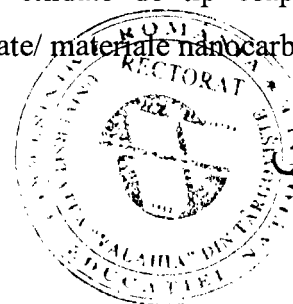
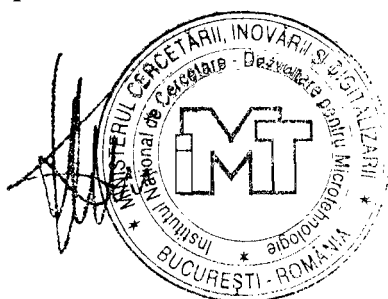
Alături de oxizii metalici semiconductori [8], materialele ceramice [9], materialele nanocarbonice sunt utilizate în mod intensiv ca elemente senzitive în designul senzorilor de umiditate [10].

Nanohornurile carbonice sunt materiale cu o structură tubulară, înrudite cu nanotuburile de carbon [11,12]. Ele se pot sintetiza prin ablația laser a grafitului. 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 m²/g) [13,14].

În pofida paletii largi de aplicații, există un număr relativ mic de studii privind utilizările nanohornurilor carbonice (simple și oxidate) ca straturi senzitive pentru monitorizarea umidității relative [15-17].

Cererea de brevet de invenție **RO 135487A2** cu titlul „Senzor rezistiv de umiditate” (Bogdan-Cătălin Șerban, Octavian Buiu, Cornel Cobianu, Niculae Dumbrăvescu, Viorel Avramescu) se referă la un senzor rezistiv de umiditate utilizând ca strat senzitiv un nanohibrid ternar constituit din nanohornuri carbonice oxidate (CNHox) / ZnO / Polivinilpirolidonă (PVP). Senzorul propus este constituit dintr-un substrat dielectric precum Si/SiO₂, electrozi (Al, Cr, Cu, Au) având configurația liniară sau interdigitată, precum și filmul sensibil la umiditate, depus prin metoda picurării (*drop casting*) dintr-o soluție de alcool izopropilic.

Cererea de brevet de invenție **RO 135488A2** cu titlul „Senzor rezistiv pentru umiditate relativă” (Bogdan-Cătălin Șerban, Octavian Buiu, Cornel Cobianu) se referă la un senzor rezistiv de umiditate în care straturile senzitive descrise sunt nanocompozite binare de tipul: a) nanohornuri carbonice oxidate/acid tanic; b) materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/acid tanic; c) 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 picurării (*drop casting*) pe un substrat dielectric de Si/SiO₂, 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 hidrofil 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/SiO₂), cât și cu nanohornurile carbonice oxidate.

Cererea de brevet de invenție **RO 135491A2** cu titlul „Senzor rezistiv pentru umiditate relativă” (Bogdan-Cătălin Șerban, Octavian Buiu, Cornel Cobianu, Maria Roxana Marinescu) se referă la un senzor rezistiv de umiditate în care straturile senzitive utilizate sunt nanocompozite binare de tipul: a) nanohornuri carbonice oxidate/lignosulfonat de sodiu; b) materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă/lignosulfonat de sodiu sau nanocompozite ternare de tipul nanohornuri carbonice oxidate / materiale nanocarbonice oxidate de tip ceapă / lignosulfonat de sodiu.

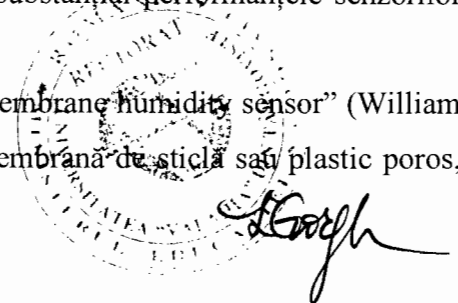
Utilizarea nanocompozitelor binare și ternare descrise mai sus, depuse ca straturi senzitive prin metoda *drop casting* pe un substrat dielectric de Kapton sau Si/SiO₂, prezintă câteva avantaje semnificative:

- 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 hidrofil al nanohornurilor carbonice oxidate, precum și al materialelor nanocarbonice oxidate de tip ceapă;
- caracterul dispersant al lignosulfonatului de sodiu care facilitează obținerea unui strat senzitiv cu o distribuție uniformă a materialului nanocarbonic.

Polimerii reprezintă o clasă importantă de compuși utilizați ca straturi sensibile în designul senzorilor de umiditate. Polivinilpirolidona (**Fig.2**), alcoolul polivinilic, polianilina sunt doar câteva exemple în acest sens [18-21].

Nu în ultimul rând, electroliții de tipul halogenurilor metalelor alcaline sunt adesea parte componentă a straturilor sensibile la umiditate, îmbunătățind substanțial performanțele senzorilor [22-30].

Brevetul de invenție **US 4,245,806** cu titlul „Porous membrane humidity sensor” (William H. Meiklejohn) se referă la un higrometru constituit dintr-o membrană de sticlă sau plastic poros,



electrozi metalici, stratul sensibil la variația umidității relative, precum și un film hidrofob dispus deasupra electrozilor metalici. Membrana de sticlă are un număr considerabil de pori care conțin o sare higroscopică, cum ar fi clorura de litiu sau clorura de zinc. La creșterea nivelului umidității relative, clorura de litiu absoarbe mai multă apă, conducând la o scădere a valorii rezistenței. În mod similar, o descreștere a nivelului de umiditate relativă atrage după sine o creștere a rezistenței. Filmul hidrofob previne scurgerea soluției din porii membranei la umidități relative ridicate (peste 95%). Senzorul prezintă un răspuns liniar într-un domeniu de umiditate relativă de 10-100%.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția prezentă constă în obținerea de noi straturi senzitive la variația valorii umidității relative, utilizate în designul unor senzori de tip rezistiv. Straturile senzitive descrise în această invenție, care pot fi utilizate pentru obținerea unor senzori rezistivi de umiditate relativă, sunt matrice nanocompozite nanohornuri carbonice oxidate/KCl/polivinilpirolidonă. Din punct de vedere al principiului de detecție, rezistența stratului conductiv variază cu nivelul umidității relative.

Utilizarea nanohornurilor carbonice oxidate prezintă câteva avantaje semnificative:

- nanohornurile carbonice oxidate conferă un raport mare suprafață specifică / volum, afinitate pentru moleculele de apă, precum și o variație a rezistenței stratului sensibil la contactul cu acestea pe tot domeniul de RH;
- detecție la temperatura camerei;

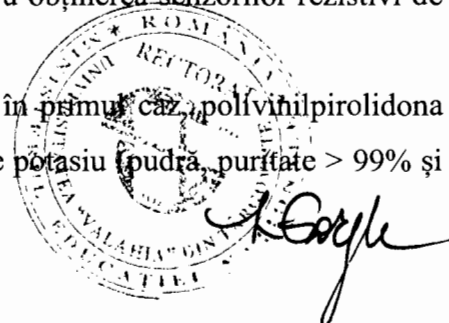
Polivinilpirolidona este un polimer hidrofил, cu excelente proprietăți de liant (*binder*).

Prezența cationilor K^+ conferă nanohibridului ternar o sensibilitate crescută, prin creșterea numărului de situsuri active, disponibile pentru o interacție cu moleculele de apă. Conform teoriei HSAB (Hard Soft, Acids and Bases), cationii K^+ sunt acizi tari, în timp ce apa este clasificată ca o bază tare, astfel încât este de anticipat o interacție de tip acid tare – bază tare (*hard acid-hard base*) între moleculele de apă și stratul sensibil la umiditate.

Substratul senzorului este realizat din siliciu (470 microni) acoperit cu SiO_2 (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.3**) sau pot avea o configurație interdigitată (**Fig.4**). Capacitatea de monitorizare a umidității relative a fost 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 de tipul nanohornuri carbonice oxidate / KCl / polivinilpirolidonă.

În cele ce urmează se prezintă etapele necesare pentru obținerea straturilor senzitive la umiditate relativă, precum și modul de utilizare al acestora pentru obținerea senzorilor rezistivi de umiditate relativă.

Materiile prime necesare sintezei stratului sensibil sunt, în primul caz, polivinilpirolidonă ($M=1.300.000$ Da), nanohornurile carbonice oxidate și clorura de potasiu (pudră, puritate > 99% și



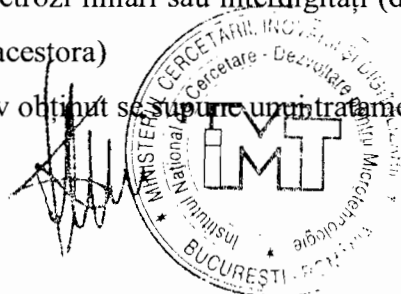
dimensiunea particulelor < de 100 nanometri), alcoolul izopropilic. Toate materialele utilizate sunt achiziționate de la Sigma Aldrich.

Exemplul 1

1. Soluția de polivinilpirolidonă în apă se prepară prin dizolvarea a 2 mg polimer în 10 mL alcool izopropilic, sub agitare magnetică (timp de o oră, la temperatura de 50°C).
2. Se adaugă soluției preparate anterior 7 mg nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 6 ore, la temperatura de 70°C, până la obținerea unei dispersii stabile.
3. Dispersiei preparate anterior i se adaugă 1 mg KCl și se continuă agitarea magnetică timp de 10 minute, la temperatura camerei.
4. Dispersia obținută se depune prin metoda picurării (*drop casting*) utilizând un substrat de Si/SiO₂ cu electrozi liniari sau interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte a acestora).
5. Stratul senzitiv obținut se supune unui tratament termic la 80°C, o oră.
6. Capacitatea de monitorizare a umidității relative a fost investigată prin aplicarea unui curent între cei doi electrozi și măsurarea tensiunii la diferite valori ale nivelului de umiditate relativă la care a fost expus stratul senzitiv constituit din nanohornuri carbonice oxidate / KCl / polivinilpirolidonă (PVP). Măsurătorile au fost efectuate în atmosferă de azot, la temperatura camerei, la diferite valori ale umidității relative. În **Fig. 5** se prezintă o comparație între performanța senzorului de umiditate care utilizează stratul senzitiv obținut în exemplul 1 (abreviat K1) și a senzorului de umiditate de tip capacitiv, comercializat de compania Honeywell.

Exemplul 2

1. Soluția de polivinilpirolidonă în apă se prepară prin dizolvarea a 2 mg polimer în 10 mL alcool izopropilic, sub agitare magnetică (timp de o oră, la temperatura de 50°C).
2. Se adaugă soluției preparate anterior 6,5 mg nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 6 ore, la temperatura de 70°C, până la obținerea unei dispersii stabile.
3. Dispersiei preparate anterior i se adaugă 1,5 mg KCl și se continuă agitarea magnetică timp de 10 minute, la temperatura camerei.
4. Dispersia obținută se depune prin metoda picurării (*drop casting*) utilizând un substrat de Si/SiO₂ cu electrozi liniari sau interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte a acestora)
5. Stratul senzitiv obținut se supune unui tratament termic la 80°C, o oră.



L. Gârgh

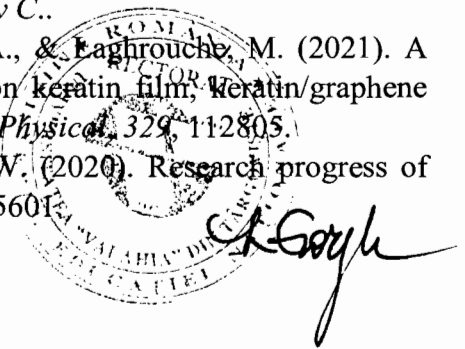
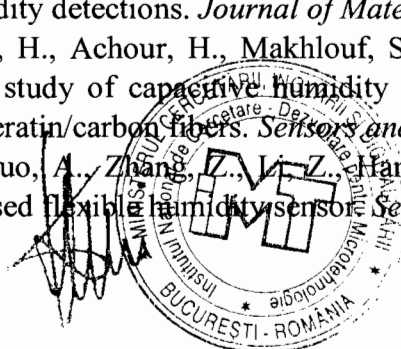
6. Capacitatea de monitorizare a umidității relative a senzorului obținut (abreviat K2) a fost investigată prin aplicarea unui curent între cei doi electrozi și măsurarea tensiunii la diferite valori ale nivelului de umiditate relativă la care a fost expus stratul senzitiv constituit din nanohornuri carbonice oxidate/KCl/ polivinilpirolidonă (PVP). Măsurătorile au fost efectuate în atmosferă de azot, la temperatura camerei, la diferite valori ale umidității relative. În Fig. 6 se prezintă o comparație între performanța senzorului de umiditate care utilizează stratul senzitiv obținut în exemplul 2 și a senzorului de umiditate de tip capacitiv, comercializat de compania Honeywell.

Exemplul 3

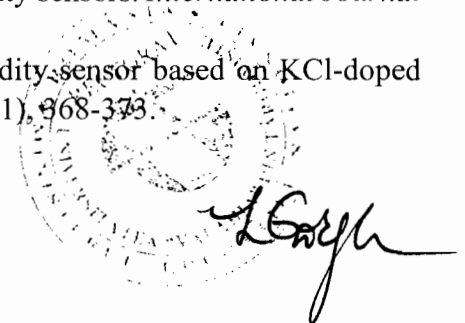
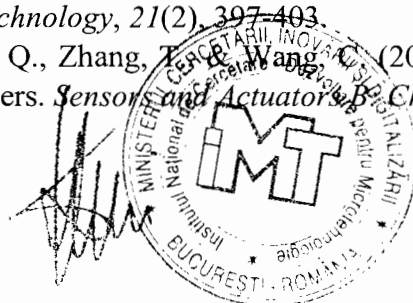
1. Soluția de polivinilpirolidonă în apă se prepară prin dizolvarea a 2 mg polimer în 10 mL alcool izopropilic, sub agitare magnetică (timp de o oră, la temperatura de 50°C).
2. Se adaugă soluției preparate anterior 6 mg nanohornuri carbonice oxidate și se continuă agitarea magnetică timp de 6 ore, la temperatura de 70°C, până la obținerea unei dispersii stabile.
3. Dispersiei preparate anterior i se adaugă 2 mg KCl și se continuă agitarea magnetică timp de 10 minute, la temperatura camerei.
4. Dispersia obținută se depune prin metoda picurării (*drop casting*) utilizând un substrat de Si/SiO₂ cu electrozi liniari sau interdigitați (după ce în prealabil s-a realizat mascarea zonei de contacte a acestora).
5. Stratul senzitiv obținut se supune unui tratament termic la 80°C, o oră.
6. Capacitatea de monitorizare a umidității relative a senzorului obținut (abreviat K3) a fost investigată prin aplicarea unui curent între cei doi electrozi și măsurarea tensiunii la diferite valori ale nivelului de umiditate relativă la care a fost expus stratul senzitiv constituit din nanohornuri carbonice oxidate / KCl / polivinilpirolidonă (PVP). Măsurătorile au fost efectuate în atmosferă de azot, la temperatura camerei, la diferite valori ale umidității relative. În Fig. 7 se prezintă o comparație între performanța senzorului de umiditate care utilizează stratul senzitiv obținut în exemplul 3 și a senzorului de umiditate de tip capacitiv comercializat de compania Honeywell.

Referințe

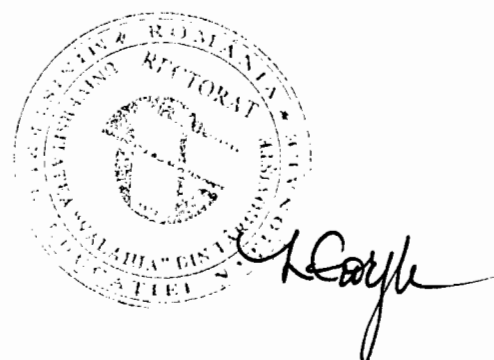
1. Duan, Z., Jiang, Y., & Tai, H. (2021). Recent advances in humidity sensor for human body related humidity detections. *Journal of Materials Chemistry C*.
2. Hammouche, H., Achour, H., Makhoulf, S., Chaouchi, A., & Eaghrouche, M. (2021). A comparative study of capacitive humidity sensor based on keratin film, Keratin/graphene oxide, and keratin/carbon fibers. *Sensors and Actuators A: Physical*, 329, 112805.
3. Liang, R., Luo, A., Zhang, Z., Li, Z., Han, C., & Wu, W. (2020). Research progress of graphene-based flexible humidity sensors. *Sensors*, 20(19), 5601.



4. Kapic, A., Tsirou, A., Verdini, P. G., & Carrara, S. (2020). Humidity sensors for high energy physics applications: A review. *IEEE Sensors Journal*, 20(18), 10335-10344.
5. Najeeb, M. A., Ahmad, Z., & Shakoor, R. A. (2018). Organic thin-film capacitive and resistive humidity sensors: a focus review. *Advanced Materials Interfaces*, 5(21), 1800969.
6. Delipinar, T., Shafique, A., Gohar, M. S., & Yapici, M. K. (2021). Fabrication and materials integration of flexible humidity sensors for emerging applications. *ACS omega*, 6(13), 8744-8753.
7. Ascorbe, J., Corres, J. M., Arregui, F. J., & Matias, I. R. (2017). Recent developments in fiber optics humidity sensors. *Sensors*, 17(4), 893.
8. Ji, H., Zeng, W., & Li, Y. (2019). Gas sensing mechanisms of metal oxide semiconductors: a focus review. *Nanoscale*, 11(47), 22664-22684.
9. Seiyama, T., Yamazoe, N., & Arai, H. (1983). Ceramic humidity sensors. *Sensors and Actuators*, 4, 85-96.
10. Tulliani, J. M., Insera, B., & Ziegler, D. (2019). Carbon-based materials for humidity sensing: A short review. *Micromachines*, 10(4), 232.
11. Serban, B. C., Bumbac, M., Buiu, O., Cobianu, C., Brezeanu, M., & Nicolescu, C. (2018). Carbon nanohorns and their nanocomposites: Synthesis, properties and applications. A concise review. *Ann. Acad. Rom. Sci. Ser. Math. Appl*, 11, 5-18.
12. Zhu, S., & Xu, G. (2010). Single-walled carbon nanohorns and their applications. *Nanoscale*, 2(12), 2538-2549.
13. Pagona, G., Tagmatarchis, N., Fan, J., Yudasaka, M., & Iijima, S. (2006). Cone-end functionalization of carbon nanohorns. *Chemistry of materials*, 18(17), 3918-3920.
14. Serban, B. C., Cobianu, C., Buiu, O., Bumbac, M., Dumbravescu, N., Avramescu, V., ... & Comanescu, F. (2021). Quaternary Oxidized Carbon Nanohorns—Based Nanohybrid as Sensing Coating for Room Temperature Resistive Humidity Monitoring. *Coatings*, 11(5), 530.
15. Serban, B. C., Cobianu, C., Buiu, O., Bumbac, M., Dumbravescu, N., Avramescu, V., ... & Radulescu, C. (2021). Ternary Nanocomposites Based on Oxidized Carbon Nanohorns as Sensing Layers for Room Temperature Resistive Humidity Sensing. *Materials*, 14(11), 2705.
16. Serban, B. C., Cobianu, C., Buiu, O., Bumbac, M., Dumbravescu, N., Avramescu, V., ... & Comanescu, F. C. (2021). Quaternary Holey Carbon Nanohorns/SnO₂/ZnO/PVP Nano-Hybrid as Sensing Element for Resistive-Type Humidity Sensor. *Coatings*, 11(11), 1307.
17. Serban, B. C., Buiu, O., Bumbac, M., Dumbravescu, N., Avramescu, V., Brezeanu, M., ... & Comanescu, F. (2021). Ternary Holey Carbon Nanohorns/TiO₂/PVP Nanohybrids as Sensing Films for Resistive Humidity Sensors. *Coatings*, 11(9), 1065.
18. 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.
19. De Queiroz, A. A., Soares, D. A., Trzesniak, P., & Abraham, G. A. (2001). Resistive-type humidity sensors based on PVP-Co and PVP-I₂ complexes. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 39(4), 459-469.
20. 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.
21. Agool, I. R., Kadhim, K. J., & Hashim, A. (2017). Fabrication of new nanocomposites: (PVA-PEG-PVP) blend-zirconium oxide nanoparticles) for humidity sensors. *International Journal of Plastics Technology*, 21(2), 397-403.
22. Song, X., Qi, Q., Zhang, T., & Wang, C. (2009). A humidity sensor based on KCl-doped SnO₂ nanofibers. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 138(1), 368-373.



23. Qi, Q., Zhang, T., Wang, S., & Zheng, X. (2009). Humidity sensing properties of KCl-doped ZnO nanofibers with super-rapid response and recovery. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 137(2), 649-655.
24. Geng, W., Yuan, Q., Jiang, X., Tu, J., Duan, L., Gu, J., & Zhang, Q. (2012). Humidity sensing mechanism of mesoporous MgO/KCl-SiO₂ composites analyzed by complex impedance spectra and bode diagrams. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 174, 513-520.
25. Qi, Q., Feng, Y., Zhang, T., Zheng, X., & Lu, G. (2009). Influence of crystallographic structure on the humidity sensing properties of KCl-doped TiO₂ nanofibers. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 139(2), 611-617.
26. Qi, Q., Zhang, T., Zeng, Y., & Yang, H. (2009). Humidity sensing properties of KCl-doped Cu-Zn/CuO-ZnO nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 137(1), 21-26.
27. Buvailo, A. I., Xing, Y., Hines, J., Dollahon, N., & Borguet, E. (2011). TiO₂/LiCl-based nanostructured thin film for humidity sensor applications. *ACS applied materials & interfaces*, 3(2), 528-533.
28. Li, Z., Zhang, H., Zheng, W., Wang, W., Huang, H., Wang, C., ... & Wei, Y. (2008). Highly sensitive and stable humidity nanosensors based on LiCl doped TiO₂ electrospun nanofibers. *Journal of the American Chemical Society*, 130(15), 5036-5037.
29. Jiang, K., Zhao, H., Dai, J., Kuang, D., Fei, T., & Zhang, T. (2016). Excellent humidity sensor based on LiCl loaded hierarchically porous polymeric microspheres. *ACS applied materials & interfaces*, 8(38), 25529-25534.
30. Zhu, K., Tang, Y., Zhong, X., Xiong, L., Zhang, Y., Tan, C., ... & Wang, J. (2020). Improved response/recovery time and sensitivity of SnSe nanosheet humidity sensor by LiCl incorporation. *Advanced Electronic Materials*, 6(5), 1901330.



Revendicări

1. Senzor chemirezistiv de monitorizare a umidității relative **care se caracterizează prin aceea că** este alcătuit dintr-un substrat dielectric, electrozi metalici și un strat senzitiv constituit dintr-un film subțire de nanohibrid ternar de tipul nanohornuri carbonice oxidate ox-CNHS / clorură de potasiu KCl / polivinilpirolidonă PVP, procentul masic de ox-CNHS în stratul senzitiv variind între 60 și 70%, iar procentul masic de KCl variind între 10 și 20%.
2. Senzorul chemirezistiv conform revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** substratul dielectric poate fi construit din Si/SiO₂, sticlă, poliimidă și poate avea o grosime între 50 microni și 5 milimetri.
3. Senzorul chemirezistiv conform revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** electrozii utilizați se depun pe suprafața substratului dielectric prin printare directă, pulverizare catodică sau evaporare.
4. Senzorul chemirezistiv conform revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** electrozii utilizați pot fi constituiți din același material (crom, aur) sau din materiale diferite.
5. Senzorul chemirezistiv conform revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** electrozii utilizați pot fi liniari sau pot avea o configurație interdigitată.
6. Senzorul chemirezistiv conform revendicării 1 **se caracterizează prin aceea că** depunerea stratului senzitiv se realizează din soluție de alcool izopropilic prin metoda picurării (*drop casting*) pe substratul de Si/SiO₂ cu electrozi liniari sau interdigați.
7. Senzorul chemirezistiv obținut conform revendicărilor 1, 2, 3, 4, 5, 6 **se caracterizează prin aceea că** utilizarea în monitorizarea umidității presupune aplicarea unui curent constant între doi electrozi și măsurarea tensiunii electrice care traversează stratul senzitiv, la diverse valori ale umidității relative.



Nanohibrid ternar pentru senzor chemirezistiv de umiditate

Inventatori:

Bogdan Cătălin ȘERBAN, Octavian BUIU, Marius BUMBAC, Cristina Mihaela NICOLESCU

Desene

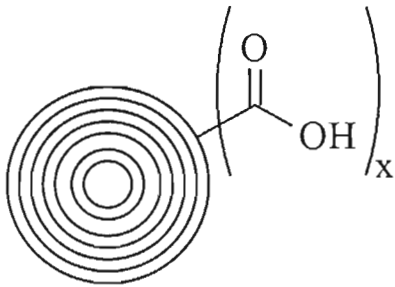


Fig. 1. Structura materialelor nanocarbone tip ceapă oxidate (ox-CNOs)

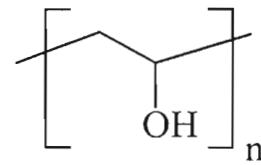


Fig. 2. Structura alcoolului polivinilic (PVA)

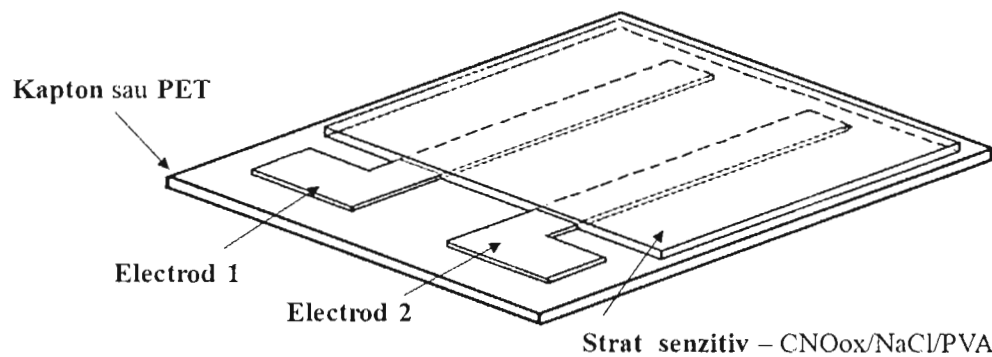


Fig. 3. Schema de realizare a unui senzor de umiditate relativă care utilizează nanohibrid ternar ox-CNOs/NaCl/PVA pentru stratul senzitiv, și electrozi liniari

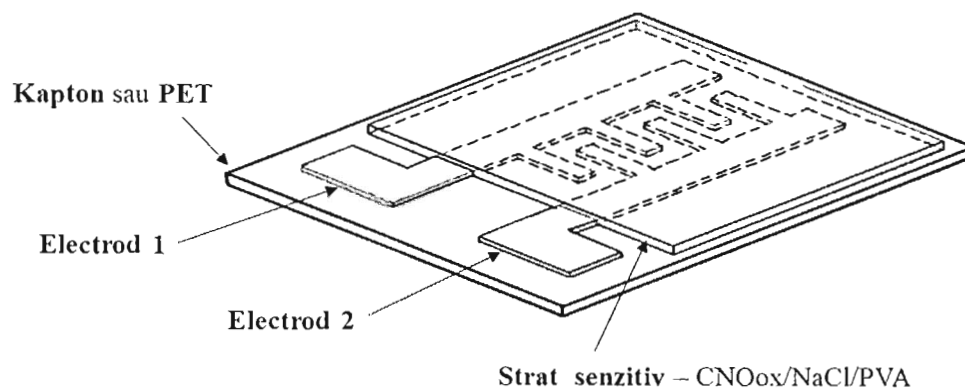


Fig. 4. Schema de realizare a unui senzor de umiditate relativă care utilizează nanohibrid ternar ox-CNOs/NaCl/PVA și electrozi interdigitați

