



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00531

(22) Data de depozit: 24/08/2020

(41) Data publicării cererii:  
26/02/2021 BOPI nr. 2/2021

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN  
CLUJ-NAPOCA, STR.MEMORANDUMULUI  
NR.28, CLUJ- NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:  
• RADA SIMONA, STR. BIBLIOTECII NR.10,  
SC.1, AP.22, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;

• OPRE RĂZVAN TIBERIU,  
STR.CERBULUI, NR.16, AP.1, SATU MARE,  
SM, RO;  
• PINTEA ANDREI, STR.MIORIȚEI, NR.2,  
AP.15, SATU MARE, SM, RO;  
• CULEA EUGEN, STR.PLOPILOR NR.67,  
SC.5, ET.2, AP.53, CLUJ- NAPOCA, CJ, RO

(54) PROCEDEU DE DESULFATIZARE, OPTIMIZARE  
ȘI APLICARE A PLĂCILOR UZATE PROVENITE  
DE LA BATERIA AUTO

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de desulfatizare, optimizare și utilizare a plăcilor uzate de la acumulatorul de plumb pentru realizarea de noi aplicații cum sunt electrozii pentru baterii. Procedeu conform invenției folosește ca materie primă electrodul anodic ca sursă de Pb și electrodul catodic ca sursă de PbO<sub>2</sub> de la o baterie auto uzată care are un grad mare de sulfatare și un conținut scăzut de Pb în plăci și în grătar, și constă în cântărirea cu balanța analitică a substanțelor cu formulele chimice xNiO·(100-x)[4PbO<sub>2</sub>·Pb] unde x = 8% moli NiO și xCo<sub>3</sub>O<sub>4</sub>·[4PbO<sub>2</sub>·Pb] unde x = 20% moli Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> exprimate în procente de moli în proporții stoichiometrice, folosind pulbere de NiO și respectiv Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, se introduce amestecul de substanțe în creuzete de alumina și apoi se introduc într-un cuptor, se topesc iar topitura se răstoarnă rapid pe o placă de oțel inoxidabil.

Revendicări: 3  
Figuri: 2

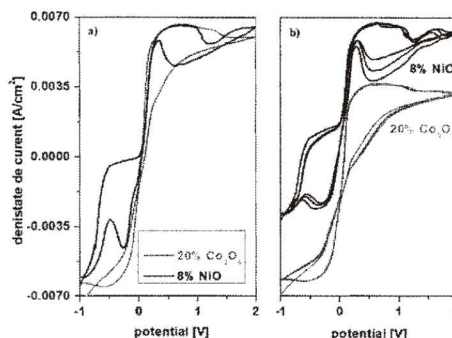


Fig. 2

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).



**PROCEDEU DE DESULFATIZARE, OPTIMIZARE ȘI APLICARE  
A PLĂCILOR UZATE PROVENITE DE LA  
BATERIA AUTO**

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. ....	2020 00 531
Data depozit .....	24-08-2020

Invenția se referă la o metodă nouă, originală și eficientă de desulfatizare, optimizare și utilizare a plăcilor uzate de la acumulatorul de plumb pentru aplicații noi ca electrod pentru baterii.

Odată cu creșterea populației la nivel global a crescut și cererea de autovehicule. Această necesitate a omenirii duce și la apariția multor deșuri provenite de la industria construcțiilor de mașini. Un deșeu important este cel provenit de la bateriile auto, componentă care a existat în construcția autovehiculelor chiar de la începutul motorului cu combustie internă. Chiar dacă autovehiculele au continuat să se dezvolte, crescând în viteză, eficiență sau confort, partea de acumulator nu a suferit schimbări majore, acestea având același principiu de funcționare din 1859, când au fost inventate.

În componența unui acumulator auto se găsesc metale grele, acizi dar și elemente de plastic. Toate elemente constructive menționate au un puternic impact negativ atât asupra sănătății omului cât și asupra mediului. Aceasta a făcut ca omenirea să conștientizeze destul de repede pericolul pe care ele îl reprezintă și să ia măsuri imediate în legătură cu reciclarea lor. În perioada 2004-2009 cel mai reciclat deșeu de pe planetă a fost plumbul provenit de la acumulatorii auto.

După scoaterea din uz, multe baterii auto au plăci cu un grad ridicat de sulfatizare și oxidare. Din plăcile sulfatate se extrage plumbul prin procedee hidro-pirometalurgice complexe [2-7]. Problema principală a acestor metode de reciclare constă în desulfatizarea în soluții apoase care este inefficientă datorită solubilității mici a compușilor cu plumb în solvenți [5-7]. Pe de altă parte, reacția de descompunere termică a sulfatului de plumb la ~1100°C conduce la emisia de dioxid și trioxid de sulf în atmosferă [3, 4] conform ecuației:



Având în vedere că aceste probleme există în tehnicile actuale, este necesară efectuarea de studii care să optimizeze condițiile de exploatare și să reducă costurile asociate cu fabricarea la scară largă [8]. Prin integrarea proceselor tehnicilor actuale cu tehnici recent dezvoltate este nevoie să se deschidă o nouă direcție pentru reciclarea deșeurilor provenite de

la plăcile uzate ale bateriei auto. Deoarece plumbul este toxic pentru mediu și oameni, reciclarea și gestionarea deșeurilor provenite de la bateriile cu plumb a devenit o provocare semnificativă care necesită o mare atenție în comunitatea științifică [8]. Este de așteptat ca îmbunătățirile care vor fi aduse în reciclarea bateriilor să fie realizate prin eliminarea acestor dezavantaje.

Principalele inconveniente care conduc la descărcarea rapidă a bateriei auto sunt fenomenele de pasivare anodică, reacțiile de evoluție ale hidrogenului și ale oxigenului, dimerizarea ionilor sulfat, etc. Fenomenele de pasivare sunt fenomene de polarizare ireversibilă ale anodului și constau într-o stagnare a trecerii metalului (în cazul prezent al plumbului metalic) sub formă de ioni, atunci când acesta joacă rol de anod.

Acumulatorul de plumb conține plumb metalic, dioxid de plumb, sulfat de plumb și acid sulfuric. Electrocul negativ este constituit din plumb metalic aliat cu fracțiuni minore de calciu, stibiu, staniu, etc. Electrocul pozitiv este constituit din oxizi de plumb în diferite compoziții. Plumbul și oxizii de plumb sunt catalogați ca materiale periculoase în acord cu standardele internaționale de sănătate și mediu. Electrocul este o soluție de acid sulfuric de concentrație 35-40% [1].

Ca urmare, ***problema principală în reciclarea electrozilor uzați de la bateriile auto constă în dezvoltarea unei soluții ecologice și cu cost redus pentru desulfatizarea eficientă și totală a masei active din plăci.***

Recent a fost publicată o metodă de reciclare a plumbului din plăcile anodice și catodice de la bateria auto prin metoda subrăcirii topiturii [9, 10]. Metoda folosește ca materiale de start anodul – ca sursă de plumb și catodul – ca sursă de dioxid de plumb de la o baterie auto uzată. Avantajul acestei metode este că după răcirea topiturii formată din electrozii uzați apar două produse: *i*) o plăcuță metalică care conține ca fază majoritară plumb metalic (se separă plumbul din topitura răcită) și *ii*) o vitroceramică formată din impuritățile din compoziția bateriei. În plus, metoda eco-inovativă prezentată permite optimizarea performanțelor electrochimice ale materialelor ce urmează a fi folosite ca electrozi pentru baterii prin doparea cu diferite tipuri de oxizi de metal, precum  $MnO_2$  [11],  $CuO$  [12] sau  $V_2O_5$  [13]. Această metodă este eficientă atunci când acumulatorul de plumb este construit după tiparul clasic – anodul din plumb și catodul din  $PbO_2$ , iar prin reciclare se recuperează plumbul metalic.

Astăzi multe baterii sunt produse după criteriul prețul cel mai avantajos din punct de vedere economic, fără să ia în calcul calitatea, impactul asupra mediului și soluțiile inovative. Astfel că factorii principali care conduc la micșorarea timpului de viață al bateriei sunt: *i*)

conținutul mic de plumb din plăcile bateriei auto; *ii*) înlocuirea plumbului cu oxizi ai acestuia; *iii*) sulfatizarea mare a plăcile uzate poate chiar înainte de expirarea termenului de valabilitate.

Problema principală care apare în cazul reciclării bateriilor auto cu uzură mare în plăci constă în găsirea unei soluții inovative de reciclare, mai puțin complexă și cât mai economică din punct de vedere al consumurilor de materiale și energie, care să permită conversia de sulfați de plumb în oxizi de metal sau chiar metal.

***Invenția se referă la procedeul de desulfatare eficientă a plăcilor uzate de la bateria auto în vederea obținerii unor materialelor noi, optimizate, utilizabile la realizarea de electrozi pentru baterii.***

Conform prezentei invenții, procedeul de reciclare și desulfatare a plăcilor uzate de la bateria auto se realizează prin metoda subrăcirii topiturii utilizată la prepararea sticlelor.

Procedeu de preparare a materialului reciclat conform prezentei invenții. Se scurge electrolitul de la o baterie auto uzată și se separă plăcile anodice de cele catodice. Electrocul anodic se folosește ca sursă de plumb și electrocul catodic ca sursă de dioxid de plumb. Materia activă de la cei doi electrozi se cântărește la balanța analitică conform formulei chimice  $4\text{PbO}_2 \cdot \text{Pb}$ , exprimate în procente de moli. Amestecurile de substanțe se topesc la două temperaturi diferite în creuzete de alumină sinterizată într-un cuptor electric setat la:  $850^\circ\text{C}$  și apoi la  $1050^\circ\text{C}$ . În ambele cazuri după circa 10 minute creuzetele sunt scoase din cuptorul electric și sunt răcite brusc la temperatura camerei prin turnarea lor pe o placă de oțel inoxidabil. Probele astfel preparate au aspect vitroceramic, sunt fragile și au un conținut mic de fază metalică (plumb).

Natura amorfă sau cristalină a probele preparate a fost investigată prin difracție de raze X cu ajutorul unui difractometru Shimadzu de tip XRD – 6000, folosind un monocromator de grafit pentru un tub cu anod de cupru (cu lungimea de undă  $\lambda=1.54\text{Å}$ ).

În Figura 1 sunt prezentate difractogramele de raze X pentru cele două materiale preparate la  $850^\circ\text{C}$  și la  $1050^\circ\text{C}$ . Analiza datelor XRD pentru cele două materiale preparate la temperaturi diferite indică în ambele cazuri structuri vitroceramice cu cinci faze cristaline:  $\text{Pb}_2\text{SO}_5$ ,  $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ ,  $\text{Pb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO}_2$  și  $\text{PbO}$ . Pentru materialul reciclat la  $850^\circ\text{C}$  intensitatea picurilor de difracție corespunzătoare fazelor cristaline sulfatizate este mai intensă. Pentru materialul reciclat la  $1050^\circ\text{C}$  se evidențiază o descreștere bruscă a picurilor de difracție atribuite fazei cristaline  $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ . Această evoluție compozițională indică faptul că, creșterea temperaturii de topire la  $1050^\circ\text{C}$ , are un efect important asupra desulfatizării plăcilor uzate. Datorită scăderii cantității de faze sulfatizate, precum faza  $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$  s-a

selectat ca optimă pentru sinteza materialele electrod temperatura de 1050°C. Sulfatul de plumb se descompune la peste 1000°C cu emisie de oxizi de sulf.

Este cunoscut faptul că oxizii de plumb comerciali sunt parțial sulfatizați să formeze o pastă care este aplicată pe grătarul acumulatorului de plumb. Pasta conține în principal PbO care se găsește sub formă de sulfat de plumb monobazic  $PbO \cdot PbSO_4$ , sulfat de plumb tribazic hidratat,  $3PbO \cdot PbSO_4 \cdot nH_2O$  sau specii tetrabazice  $4PbO \cdot PbSO_4$ , poate avea în compoziție, de asemenea, Pb metalic nereacționat sau  $Pb_3O_4$  [14].

În vederea minimizării conținutului de faze sulfatizate din materialul reciclat cu compoziția  $4PbO_2 \cdot Pb$  preparat la 1050°C, acesta a fost dopat cu doi oxizi, respectiv NiO și  $Co_3O_4$ . Primul material inventat, notat cu I1 are compoziția  $xNiO \cdot (100-x)[4PbO_2 \cdot Pb]$  unde  $x = 8$  % moli NiO, iar cel de al doilea material reciclat notat I2 are formula chimică  $xCo_3O_4 \cdot (100-x)[4PbO_2 \cdot Pb]$  unde  $x = 20$  % moli  $Co_3O_4$ , exprimate în procente de moli.

Difractogramele de raze X obținute pentru cele două materiale inventate și prezentate în Figura 1 indică scăderea fazei cristaline sulfatizate,  $Pb_2SO_5$  (cu picul principal de intensitate 100% centrat la  $26.66^\circ$ ) sub limita de detecție a difractometrului. Picurile principale de intensitate 100% și 44% situate la  $27.62$ ,  $28.75$  și  $29.18^\circ$  corespunzătoare fazei cristaline  $4PbO \cdot PbSO_4$  au intensitate scăzută pentru cele două materiale inventate. Pentru materialul I1 dopat cu NiO conținutul de faze oxidice ale plumbului, respectiv fazele cristaline  $Pb_2O_3$  și  $PbO_2$ , este ceva mai ridicat decât la materialul dopat cu  $Co_3O_4$ .

Conform invenției prezentate a fost testat efectul temperaturii de sinteză și al dopantului asupra procesului de desulfatizare a materialului cu compoziția  $4PbO_2 \cdot Pb$  reciclat de la plăcile uzate ale unei baterii auto. Temperatura optimă de preparare a materialelor inventate a fost selectată ca fiind aceea de 1050°C deoarece ea permite descompunerea fazei cristaline sulfatizate  $4PbO \cdot PbSO_4$ . Adăosul unui conținut de 8 % moli NiO sau 20 % moli  $Co_3O_4$  în compoziția materialului reciclat de la bateria auto produce scăderea fazei cristaline  $Pb_2SO_5$  sub limita de detecție. La reciclarea masei active de la plăcile uzate ale unei baterii auto prin metoda subrăcirii topiturii, temperatura de sinteză și conținutul potrivit de dopant sunt factorii determinanți care conduc la conversia de sulfați de plumb în oxizi de metal.

În continuare este prezentat un exemplu de aplicare al materialelor obținute conform invenției descrise aici. Pentru punerea în evidență a performanțelor electrochimice ale materialelor inventate ca materiale electrod pentru baterii se folosesc măsurători de voltametrie ciclică. Materialele inventate sunt folosite ca electrozi de lucru într-o celulă electrochimică care folosește ca soluție de electrolit acid sulfuric de concentrație 38% ca cea întrebuițată la bateria auto.

Măsurătorile de voltametrie ciclică s-au efectuat cu un Potențostat / Galvanostat Autolab PGSTAT 302N conectat la celula electrochimică, controlată și interfațată prin intermediul softului NOVA 2.1. Electrozii de lucru au fost materialele inventate, ca și contra-electrod s-a utilizat un electrod de platină, iar ca electrod de referință s-a folosit un electrod de calomel de tipul Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/KCl.

În Figura 2 este prezentată voltamograma ciclică a materialelor electrod inventate obținute după scanarea unui ciclu (Figura 2a), respectiv după trei scanări (Figura 2b). O simplă inspecție a voltamogramelor ciclice înregistrate evidențiază faptul că electrodul nedopat nu prezintă semnal electrochimic și pentru materialele inventate I1 și I2 voltamogramele au un grad mare de ireversibilitate, în special pentru doparea cu NiO.

În zona de scanare cu densitatea de curent pozitivă pentru ambele materiale inventate, apar picuri de oxidare compuse din mai multe suprapuneri de unde corespunzătoare sistemelor redox: PbO<sub>2</sub>/Pb (+0.28V), Co<sup>+3</sup>/Co<sup>0</sup> (+0.33V), O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O (1.22V), PbO<sub>2</sub>/PbO (1.455V) și PbO<sub>2</sub>/PbSO<sub>4</sub> (1.68V). Ultimele două picuri sunt mai pronunțate pentru materialul I1 dopat cu 8 % moli NiO.

Pentru materialul inventat I1 apar în zona catodică picuri de reducere bine definite, centrate la +0.28V, -0.126V și -0.23V corespunzătoare proceselor redox PbO<sub>2</sub>/Pb, Pb<sup>+2</sup>/Pb și respectiv Ni<sup>+2</sup>/Ni<sup>0</sup>. Pentru materialul inventat I2 apare un pic mic de reducere situat la -0.28V provenit de la sistemul redox Co<sup>+2</sup>/Co<sup>0</sup>.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute din cele două tehnici de investigare ale materialelor inventate indică următoarele avantaje ale acestei invenții:

- materialele inventate au fost preparate printr-o metodă simplă, puțin costisitoare, care are avantajul că oferă o cale de desulfatare eficientă a plăcilor cu uzură mare de la bateria auto prin conversia sulfaților de plumb în oxizi de metal;
- materialele reciclate și dopate cu 8% moli NiO sau 20% moli Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pot fi folosite pentru aplicații ca electrod la baterii.

Modelul experimental dezvoltat pentru testarea materialelor inventate ca electrozi la baterii prezintă selectivitate dependentă de natura ionilor componenți și dovedește o eficiență bună. Procedul de preparare inventat permite: *i*) reciclarea masei active a electrozilor (pastă și grătar) proveniți de la acumulatorii uzați cu un conținut scăzut de plumb metalic și *ii*) doparea materialelor reciclate cu oxizi metalici în vederea unor aplicații ca materiale electrod pentru baterii.

### Mulumiri

Acest brevet se bazează pe o cercetare finanțată de Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI), prin Proiecte MC 2020.

### Bibliografie

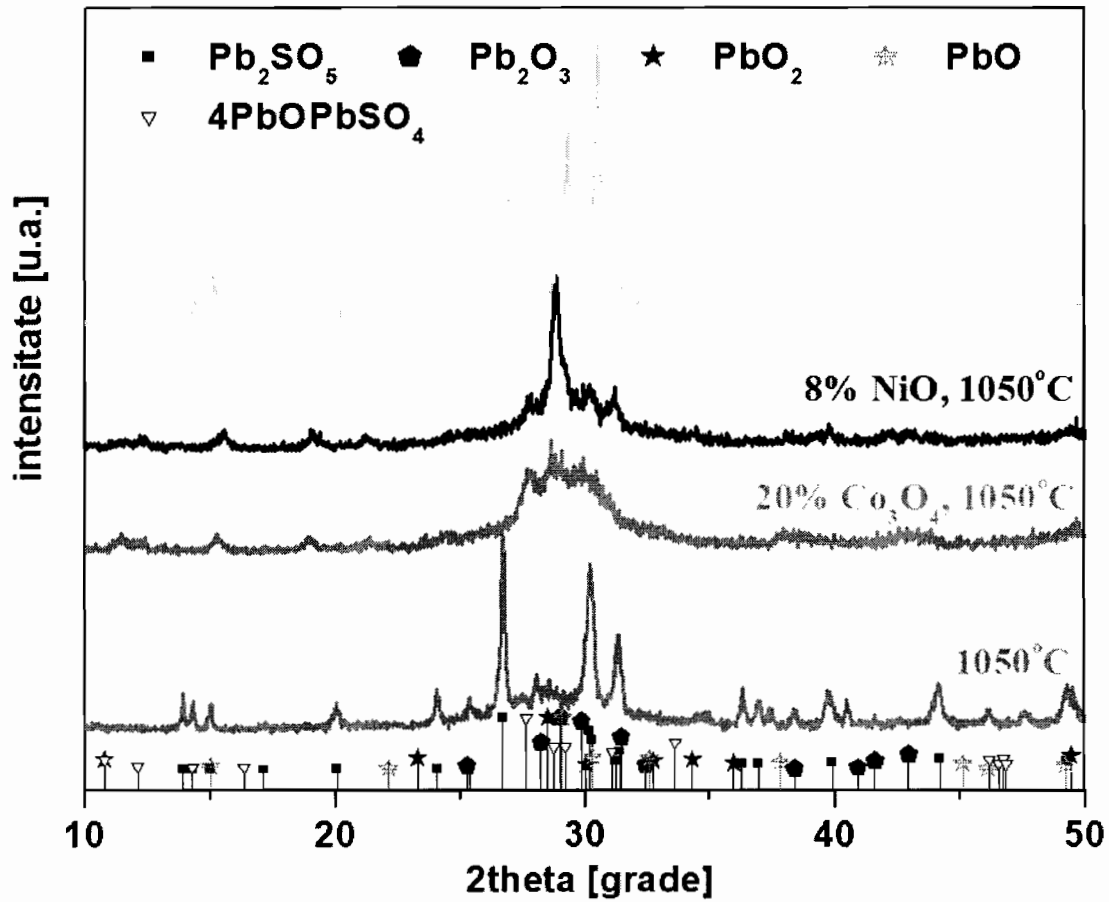
1. D. Pavlov, *Lead-Acid Batteries: Science and Technology, A handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product*, Second Edition, Editura Elsevier, 2017, 707 pagini.
2. K. Varshney, P. K. Varshney, K. Gautam, M. Tanwar, M. Chaudhary, *Current trends and future perspectives in the recycling of spent lead acid batteries in India*, *Materials Today: Proceedings* 26: 592-602 (2020).
3. M. A. Kreuzsch, M. J. J. S. Ponte, H. A. Ponte, N. M. S. Kaminari, C. E. B. Marino, V. Mymrin, *Technological improvements in automotive battery recycling*. *Resour. Conserv. Recycl.* 2: 368-380 (2007).
4. L. Li, X. Zu, D. Yang, L. Gao, J. Liu, R. V. Kumar, J. Yang, *Preparation and characterization of nano-structured lead oxide from spent lead acid battery paste*, *J. Hazard Matter.* 203: 274-282 (2012).
5. D. Lin, K. Qiu, *Recycling of waste lead storage battery by vacuum methods*, *Waste Management* 31(7): 1547-1552 (2011).
6. Y. Ma, K. Qiu, *Recovery of lead from lead paste in spent lead acid battery by hydrometallurgical desulfurization and vacuum thermal reduction*, *Waste Management* 40:151-156 (2015).
7. Y. Wenhao, J. Yang, M. Li, H. Yuchen, S. Liang, J. Wang, P. Zhang, K. Xiao, H. Hou, H. Jingping, R. V. Kumar, *A facile lead acetate conversion process for synthesis of high purity alpha lead oxide derived from spent lead acid batteries*, *J. Chem. Technol. Biotechnol* 94: 88-97 (2019).
8. M. Li, J. Liu, W. Han, *Recycling and management of waste lead-acid batteries: A mini-review*, *Waste Management & Research* 34(4): 298-306 (2016).
9. S. Rada, M.L. Unguresan, L. Bolundut, M. Rada, H. Vermesan, M. Pica, E. Culea, *Structural and electrochemical investigations of the electrodes obtained by recycling of lead acid batteries*, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 780: 187-196 (2016).

10. S. Rada, M. Zagrai, M. Rada, E. Culea, A. Bot, *Procedeu de preparare, optimizare și aplicare a materialelor reciclate de la electrozii unei baterii auto uzate*, Brevet Ro 132873 A0, Ro-BOPI nr. 10 (2018) pagina 27.
11. S. Rada, D. Cuibus, H. Vermesan, M. Rada, E. Culea, *Structural and electrochemical properties of recycled active electrodes from spent lead acid battery and modified with different manganese dioxide contents*, *Electrochimica Acta* 268: 332-339 (2018).
12. S. Rada, M. Unguresan, M. Rada, C. Tudoran, J. Wang, E. Culea, *Performance of the recycled and copper-doped materials from spent electrodes by XPS and voltammetric characteristics*, *J. Electrochem. Soc.* 167: 090548-090554 (2020).
13. M. Rada, A. Popa, S. Rada, A. bot, E. Culea, *Recycled and vanadium-doped materials as negative electrode of the lead acid battery*, *J. Solid State Electrochemistry* 23: 2435-2445 (2019).
14. B. P. Varma, C. W. Fleischmann, *Dibasic lead sulfate in lead-acid battery pastes*, *J. Electrochemical Society* 124(5):718-719 (1977).



## REVENDICĂRI

- 1. Metoda de preparare a unor noi materiale electrod este caracterizată prin aceea că:** (1) folosește ca materie primă electrodul anodic (ca sursă de Pb) și catodic (ca sursă de PbO<sub>2</sub>) de la o baterie auto uzată care are un grad mare de sulfatare și are un conținut scăzut de plumb în plăci și în grătar; (2) se cântăresc la balanța analitică substanțele cu formulele chimice  $x\text{NiO}\cdot(100-x)[4\text{PbO}_2\cdot\text{Pb}]$  unde  $x = 8$  % moli NiO și  $x\text{Co}_3\text{O}_4\cdot(100-x)[4\text{PbO}_2\cdot\text{Pb}]$  unde  $x = 20$  % moli Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, exprimate în procente de moli în proporții stoichiometrice, folosind pulbere de NiO și respectiv Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; (3) se introduce amestecul de substanțe în creuzete de alumină și apoi se introduc într-un cuptor electric setat la 1050°C; (4) după 10 minute, se scot creuzetele din cuptor și topitura se răstoarnă rapid pe o placă de oțel inoxidabil.
- 2. Materialele noi reciclate și dopate cu oxizi metalici obținute conform revendicării 1 sunt caracterizate prin aceea că au aplicații ca electrozi pentru baterii.**
- 3. Procedul de preparare inventat, conform revendicării 1, permite:** i) conversia fazelor sulfatizate din plăcile uzate de la bateria auto în materiale conținând oxizii ai plumbului; ii) optimizarea materialului reciclat prin dopare cu alți oxizi în vederea îmbunătățirii performanțelor conductive și electrochimice ale electrozilor pentru aplicații la baterii.



**Figura 1:** Difractogramele de raze X pentru materialele cu compoziția  $4\text{PbO}_2 \cdot \text{Pb}$  preparate la  $850^\circ\text{C}$  și  $1050^\circ\text{C}$  din plăcile uzate de la o baterie auto uzată și materialele inventate I1 (dopate cu 8% moli NiO) sau I2 (dopate cu 20% moli  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ).

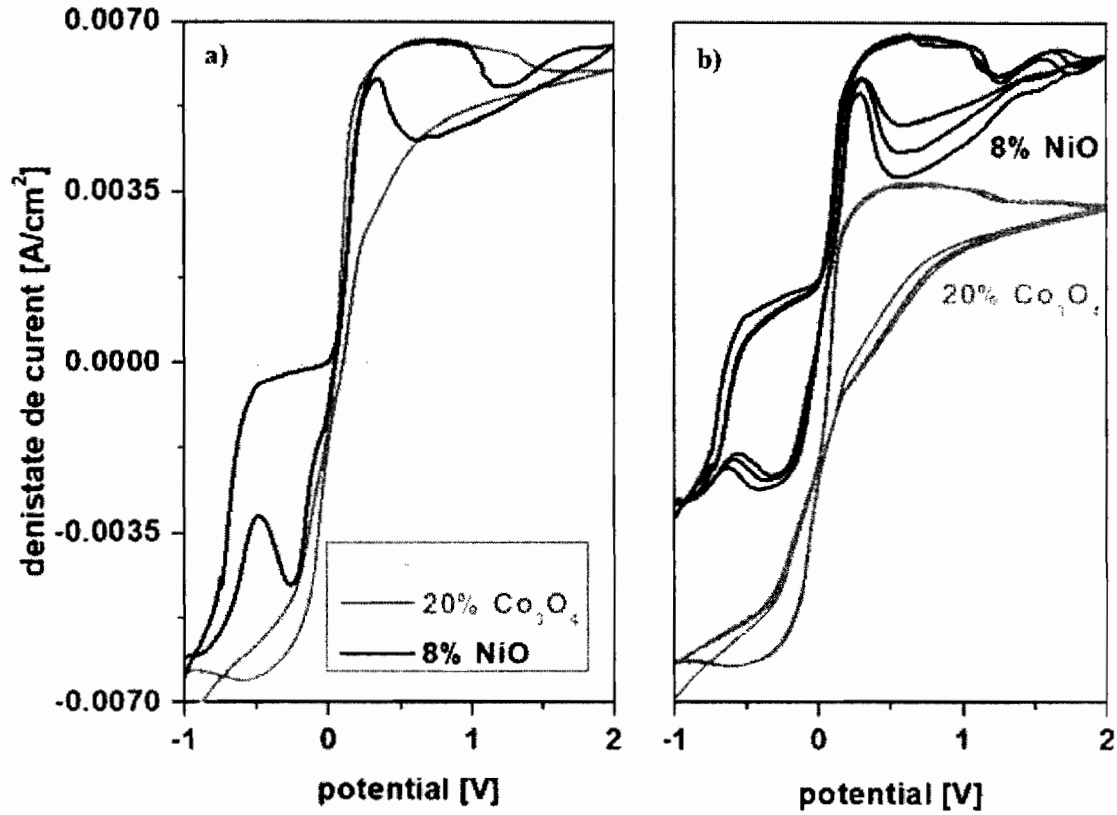


Figura 2: Voltamogramele ciclice pentru materialele electrod inventate I1 (dopate cu 8 % moli  $\text{NiO}$ ) și I2 (dopate 20 % moli  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) obținute după:  
a) scanarea unui ciclu și b) trei scanări.