Elektrohemijско ponašanje resintetisanog katodnog materijala iz potrošenih litijum jonskih baterija u organskom elektrolitu

JELENA V. SENČANSKI, Univerzitet u Beogradu,

Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd

MILICA J. VUJKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

IVANA B. STOJKOVIĆ SIMATOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 544.6.076.32:621.352

DOI: 10.5937/tehnika1802181S

Problematika velikog broja potrošenih litijum jonskih baterija usled njihove velike upotrebe dovela je do potrebe za razvitkom procesa njihovog recikliranja, kako zbog opasnosti po životnu sredinu, tako i zbog činjenice da ove baterije mogu da zamene prirodna izvorišta ruda metala koji se u njima nalaze. U ovom radu je prikazana sinteza katodnog materijala dobijenog iz potrošenih baterija, sa ciljem njegove ponovne upotrebe. Sinteza je izvršena metodom koprecipitacije, a karakterizacija sintetisanog kompozita je urađena metodama rendgenske difrakcije (XRD) i skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM), dok je određivanje hemijskog sastava urađeno plamenom atomskom apsorpcionom spektrometrijom (FAAS). Radi provere funkcionalnosti resintetisanog katodnog materijala, elektrohemijška merenja su izvršena metodom galvanostatskog punjenja i pražnjenja u 1M rastvoru LiClO_4 u propilen karbonatu. Resintetisani materijal je imao početni kapacitet od 70.6 mAh g^{-1} pri brzini struje od 100 mA g^{-1} i pad kapaciteta od 13% nakon 5 ciklusa punjenja i pražnjenja i poreden je sa materijalom koji je resintetisan metodom sagorevanja citratnog gela.

Ključne reči: litijum jonske baterije, reciklaža litijum jonskih baterija, metoda koprecipitacije, $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$, organski elektrolit

1. UVOD

Litijum jonske baterije su poslednjih decenija postale glavni izvor energije za mnoge prenosive električne uređaje kao što su mobilni telefoni, lap topovi i električna vozila. Velika primena baterija je značila i eksponencijalni porast otpada potrošenih baterija. Zbog svog hemijskog sastava koji sadrži mnoge toksične metale kao što su Li, Co, Ni, Mn, Cu i Al [1,2], potreba za razvijanjem procesa reciklaže ove vrste otpada je postala neophodna.

Postoje mnoga postrojenja u svetu koja se bave procesom reciklaže koja su najzastupljenija u Evropi, Aziji i Severnoj Americi, dok u Južnoj Americi, Africi i Australiji i Novom Zelandu proces reciklaže još uvek nije razvijen [3].

Prema EU Direktivi o baterijama, reciklaža baterija je definisana kao obrada otpada baterija i akumulatora u cilju dobijanja produkata koji se mogu koristiti u proizvodnji baterija ili u druge primene. Proces reciklaže obuhvata korake prikupljanja baterija, sortiranja, rastavljanja na pojedinačne komponente i njihovu dalju transformaciju ka novim produktima koji se dalje mogu koristiti [4].

Pošto se litijum jonske baterije sastoje iz Al košuljice, Al kolektora sa katodnim materijalom (LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$, LiMn_2O_4 ili LiFePO_4), Cu kolektora sa anodnim materijalom (grafitom) i separatora [2], u svakom postupku reciklaže u naučnoj literaturi, posle prikupljanja i sortiranja, sledeći korak u procesu reciklaže je odvajanje pojedinačnih komponenti baterija [5].

Kada se komponente odvoje, potrebno je odvojiti katodni material od Al kolektora i postupci koji se najčešće primenjuju su: žarenje kako bi se eliminisao ugljenik koji se dodaje katodnom materijalu da bi se povećala električna provodljivost [2, 6], rastvaranje organskog veziva kojim je katodni material vezan za

Adresa autora: Jelena Senčanski, Univerzitet u Beogradu, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, Studentski trg 12

e-mail: jelenasencanski@gmail.com

Rad primljen: 07.03.2018.

Rad prihvaćen: 27.03.2018.

aluminijumsku podlogu [5, 7] i rastvaranje Al u litijum hidroksidu [8] i natrijum hidroksidu [9].

Pored interesa za dobijanjem pojedinačnih metala iz potrošenih litijum jonskih baterija [1, 4, 10-14], u poslednje vreme postoji sve veća tendencija da se resintetiše katodni materijal iz potrošenih litijum jonskih baterija. Najčešće metode sinteze su sol-gel metoda [15-18], metoda koprecipitacije [19-21] i reakcija u čvrstom stanju [22-24]. Metodom koprecipitacije i sol gel metodom se dobijaju čestice nanometarskih dimenzija [15-21] dok se metodom reakcije u čvrstom stanju dobijaju čestice mikrometarskih dimenzija [22-24]. Dobijanje nanometarskih čestica je od interesa zbog njihove velike specifične površine. Naime, princip rada litijum jonske baterije se zasniva na interkalaciji i deinterkalaciji litijuma u/iz katodnog materijala koji ima slojevitú strukturu [2]. Što je veća specifična površina čestice, to će veći broj jona Li^+ dospeti u slojevitú strukturu.

Cilj rada je bio da se ispita elektrohemijско ponašanje (kapacitet i stabilnost kapaciteta tokom cikliranja) resintetisanog katodnog materijala dobijenog metodom koprecipitacije u organskom rastvoru litijumove soli i da se uporedi sa materijalom koji je resintetisan sol-gel metodom kako bi se utvrdilo koji način sinteze katodnog materijala omogućava dobijanje boljeg materijala za ponovnu primenu u baterijama.

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Resinteza katodnog materijala

Postupak razdvajanja komponenti baterija, kao i detaljan opis načina sinteze metodom koprecipitacije, je opisan u našem prethodnom radu [21]. Katodni materijal korišćen za sintezu je dobijen iz potrošenih baterija za mobilne telefone tipa 3G Company BL-5C 900 mAh. Da bi se dobio potrošeni katodni materijal bilo je potrebno rastaviti bateriju na pojedinačne komponente i odvojiti katodni materijal od Al kolektora. Oklop baterije je odvojen kleštima, dok su Cu kolektor sa anodnim materijalom, Al kolektor sa katodnim materijalom i separator manuelno razvojeni. Katodni materijal od aluminijumske podloge je odvojen rastvaranjem u 5M NaOH.

Nakon filtriranja, talog (katodni materijal) je ispiran vrućom vodom do postizanja pH 7, sušen na 110°C, pa žaren na 700°C [18, 21] i na kraju je rastvoren u 2M HNO_3 i 30% H_2O_2 uz zagrevanje na 70°C. Resinteza je izvršena metodom koprecipitacije dodavanjem NaOH u dobijeni rastvor nitrata prelaznih metala do postizanja pH 14 kada je završeno taloženje metala u obliku hidroksida. Posle odvajanja rastvora od taloga centrifugiranjem, talog je ispran etanolom, a nedostatak litijuma je nadomešten dodatkom Li_2CO_3 da bi se zadovoljio molski odnos $\text{Li}:\sum\text{M}=1:1$. Posle

toga je materijal žaren na 700 °C preko noći [21]. Materijal dobijen na ovaj način označen je u daljem tekstu sa k-LCMNO.

Karakterizacija. U cilju određivanja hemijske formule i određivanja koliko je bilo potrebno dodati Li da bi se postigao molarni odnos $\text{Li}:\sum\text{M}=1:1$, hemijska analiza katodnog materijala, posle rastvaranja u 2M HNO_3 i 30% H_2O_2 je izvršena plamenom atomskom apsorpcionom spektrometrijom (FAAS; GBC SensAA DUAL A). Dobijena hemijska formula resintetisanog katodnog materijala k-LCMNO je $\text{LiCo}_{0.415}\text{Mn}_{0.435}\text{Ni}_{0.15}\text{O}_2$ [21].

Posle sinteze, strukturna karakterizacija je urađena rendgenskom difrakcijom na prahu (XRD; RigakuUltima IV) sa Ni-filtrovanim $\text{CuK}\alpha$ zračenjem ($\lambda=1.54178 \text{ \AA}$), brzinom snimanja 2° min^{-1} u opsegu 4-90° sa korakom 0.020°, a morfologija je karakterisana skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM; JSM-6610LV). Pre snimanja, uzorci su napareni tankim slojem zlata. Ispitivanja galvanostatskog punjenja/praznjenja recikliranog katodnog materijala vršena su u dvoelektrodnoj ćeliji pomoću softverski kontrolisanog ciklatora ArbinBT-2042.

Dvoelektrodna ćelija je sastavljena od radne elektrode (Pt elektrode na kojoj je bio nanešen tanki sloj paste ispitivanog recikliranog materijala) i litijumske folije kao anode. Pasta je dobijena mešanjem ispitivanog materijala, ugljeničnog aditiva (vulkan) i PVDF kao veziva rastvorenog u N-metil pirolidonu u odnosu 85:10:5, redom, a potom homogenizovana u ultrazvučnom kupatilu (45 min). Dobijena suspenzija je naneta u tankom sloju na Pt elektrodu i potom je sušena šest sati na 120°C pod vakuumom. Galvanostatsko punjenje i praznjenje je vršeno u opsegu napona od 2,1 do 4,3V (Li^+/Li) pri brzini struje od 100 mA g^{-1} (0,7C) u 1M rastvoru LiClO_4 u propilen karbonatu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

XRD - Rendgenskom difrakcijom na prahu (slika 1) se uočavaju karakteristične refleksije koje su u skladu sa podacima za $\text{LiCo}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2}\text{O}_2$ iz baze podataka Inorganic Crystal Structure Database, prema kartici (ICSD # 153447) [21]. Slabo izraženo cepanje parova refleksija (006)/(102) i (108)/(110), kao i visoka vrednost $R=(I_{006}+I_{102})/I_{101}$ govori o odsustvu visoko uređene heksagonalne strukture [21, 25].

Vrednost odnosa refleksija (003)/(104) koja je niža od 1.2 ukazuje na postojanje „processa mešanja kationa“ koji se smatra glavnim procesom koji dovodi do prestanka rada baterije, a sastoji se iz migracije jona Ni^{2+} na mesta jona Li^+ zbog sličnih vrednosti jonskih radijusa što onemogućuje interkalaciju Li^+ jona u sledećem ciklusu [26, 27].

Slika 1 - Rendgenski difraktogram katodnog materijala k-LCMNO

SEM analiza - Na slici 2 je prikazana SEM fotografija resintetisanog katodnog materijala. Sa slike se uočavaju sunderasti aglomerati sa česticama oblika zrna pirinča nanometarskih dimenzija sa prosečnom veličinom 150 nm. Nanometarske dimenzije čestica su posledica hemijske koprecipitacije (taloženja) koja se zasniva na korišćenju rastvora sa jonima dispergovanim na atomskom nivou, dok su sunderasti aglomerati posledica rasta čestica precipitata, odnosno rasta kristala koji se sastoji iz izdvajanja jona supstance iz rastvora na već nastale nukleuse i čestice precipitata.

Slika 2 - SEM slika resintetisanog katodnog materijala metodom koprecipitacije.

Čestice oblika zrna pirinča su posledica primenjene temperature žarenja, kao što je opisano u referenci [21].

Galvanostatsko punjenje i pražnjenje

Prvih pet ciklusa punjenja i pražnjenja u 1M rastvoru LiClO_4 u propilen karbonatu pri brzini punjenja/pražnjenja od 100 mA g^{-1} je prikazano na slici 3. Platoi punjenja i pražnjenja koji odgovaraju deinterkalaciji i interkalaciji litijumovih jona iz/u resintetisani katodni materijal k-LCMNO javljaju se na potencijalima oko 4 V i 3,8 V u odnosu na Li^+/Li , redom, slika 3a. Krive punjenja/pražnjenja imaju sličan oblik, kao i u slučaju resintetisanog katodnog materijala metodom sagorevanja citratnog gela (c-LCMNO) [18]. Međutim, početni kapacitet pražnjenja za materijal resintetisan

metodom koprecipitacije k-LCMNO je $70,6 \text{ mAh g}^{-1}$ što je oko 14% veće u odnosu na dobijeni početni kapacitet resintetisanog materijala metodom sagorevanja citratnog gela c-LCMNO [18].

Slika 3 – a) Prvi ciklus punjenja i pražnjenja katodnog materijala k-LCMNO dobijenog metodom koprecipitacije, b) prvih pet ciklusa galvanostatskog punjenja i pražnjenja

Kapacitet pražnjenja recikliranog $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ iz potrošenih Li-jonskih baterija pri tri puta manjoj brzini punjenja/pražnjenja ($0,2C$) je $152,7 \text{ mAh g}^{-1}$, što je uporedivo sa dobijenim kapacitetima u ovom radu jer je poznato da kapacitet opada sa porastom struje punjenja/pražnjenja [28].

Slika 4 - Poređenje stabilnosti kapaciteta resintetisanog katodnog materijala k-LCMNO metodom koprecipitacije i resintetisanog katodnog materijala c-LCMNO metodom sagorevanja citratnog gela u 1M rastvoru LiClO_4 u propilen karbonatu

Radi poređenja stabilnosti kapaciteta k-LCMNO sa stabilnošću kapaciteta katodnog materijala resintetisanog metodom sagorevanja citratnog gela c-LCMNO [18] na slici 4 prikazana je stabilnost kapaciteta pražnjenja tokom pedeset ciklusa punjenja/pražnjenja za oba materijala. Može se uočiti da je u slučaju resintetisanog katodnog materijala k-LCMNO pad

kapaciteta nakon prvog ciklusa daleko manja u odnosu na c-LCMNO što ukazuje da ne dolazi do nagle ireverzibilne strukturne promene slojevite strukture. Kapacitet pražnjenja nakon 5 ciklusa je oko 87% i 16% početne vrednosti za k-LCMNO i c-LCMNO, redom. Nakon 50 ciklusa vrednosti kapaciteta su daleko manje i iznose 25% i 4% početne vrednosti, redom. Značajna razlika u stabilnosti kapaciteta tokom cikliranja ova dva resintetisana materijala je najverovatnije posledica različitog odnosa sadržaja Mn prema Co što utiče na stabilnost kapaciteta materijala. Naime, sadržaj nikla kod oba resintetisana materijala je isti dok je sadržaj Mn i Co u slučaju k-LCMNO približno jednak dok u slučaju c-LCMNO sadržaj Co je gotovo dvostruko veći u odnosu na sadržaj Mn.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana sinteza katodnog materijala dobijenog iz potrošenih litijum jonskih baterija metodom koprecipitacije. Hemijski sastav katodnog materijala $\text{LiCo}_{0.415}\text{Mn}_{0.435}\text{Ni}_{0.15}\text{O}_2$ je određen FAAS-om, dok je strukturna i morfološka analiza izvršena XRD-om i SEM-om. Početni kapacitet pražnjenja kao i stabilnost kapaciteta tokom većeg broja ciklusa punjenja/pražnjenja u 1M rastvoru LiClO_4 u propilen karbonatu su bolji u odnosu na materijal koji je dobijen resintezom sagorevanja citratnog gela. To ukazuje da se jednostavnijim postupkom sinteze katodnog materijala može dobiti resintetisan materijal koji ima veći početni kapacitet i veću stabilnost tokom cikliranja, a samim tim i mogućnost ponovnog korišćenja.

5. ZAHVALNICA

Navedena istraživanja su urađena u okviru projekta III 45014 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Xu J, Thomas H. R, Francis R. W, Lum K. R, Wang J, Liang B, A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries, *Journal of Power Sources*, Vol. 177, Issue 2, pp. 512-527, 2008.
- [2] Whittingham M. S, Lithium Batteries and Cathode Materials, *Chemical Reviews*, Vol. 104, Issue 10, pp. 4271-4301, 2004.
- [3] Saloojee F, Lloyd J, Lithium Battery Recycling Process, 2015.
- [4] Maschler T. G, Friedrich B, Weyh R, Heegn H, Rutz M, Development of a recycling process for Li-ion batteries, *Journal of Power Sources*, Vol. 207, pp. 173-182, 2012.
- [5] He L. P, Sun S. Y, Song X. F, Yu J. G, Recovery of cathode materials and Al from spent lithium-ion batteries by ultrasonic cleaning, *Waste Management*, Vol. 46, pp. 523-528, 2015.
- [6] Chen L, Tang X, Zhang Y, Zeng L, Li. Z, Zhang Y, Process for the recovery of cobalt oxalate from spent Li-ion battery, *Hydrometallurgy*, Vol. 108, Issues 1-2, pp. 80-86, 2011.
- [7] Christian H, Haselrieder W, Kwade A, Recovery of active materials from spent lithium-ion electrodes and electrode production rejects, *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*, pp. 85-89, 2011.
- [8] Kim D. S, Sohn J. S, Lee C. K, Lee J. H, Han K. S, Lee Y. I, Simultaneous separation and renovation of lithium cobalt oxide from the cathode of spent lithium ion rechargeable batteries, *Journal of Power Sources*, Issues 1-2, Vol. 132 (2004) 145-149.
- [9] Alvarenga Ferreira D, Prados L. M. Z, Majuste D, Mansur M. B, Hydrometallurgical separation of aluminium, cobalt, copper and lithium from spent Li-ion batteries, *Journal of Power Sources*, Vol. 187, Issue 1, pp. 238-246, 2009.
- [10] Wang X, Gaustad G, Babbitt C. W, Richa K, Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 83, pp. 53- 62, 2014.
- [11] Wang R. C, Lin Y. C, Wu S. H, A novel recovery process of metal values from the cathode active materials of the lithium-ion secondary batteries, *Hydrometallurgy*, Vol 99, Issues 3-4, pp. 194-201, 2009.
- [12] Dorella G, Mansur M. B, A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues, *Journal of Power Sources* Vol. 170, Issue 1, pp. 210-215, 2007.
- [13] Nayaka C. G. P, Pai K. V, Santhosh G, Manjanna J, Dissolution of cathode active material of spent Li-ion batteries using tartaric acid and ascorbic acid mixture to recover Co, *Hydrometallurgy*, Vol. 161, pp. 54-57, 2016.
- [14] Bernandes A. M, Espinosa D. C. R, Tenório J. A. S, Recycling of batteries: a review of current processes and technologies, *Journal of Power Sources*, Vol. 130, Issues 1-2, pp. 291-298, 2004.
- [15] Yao L, Ya H, Xi G. and Feng Y, Recycling and synthesis of $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ from waste lithium ion batteries using D,L-malic acid, *RSC Advances*, Vol. 6, pp. 17947-17954, 2016.

- [16] Li L, Chen R. J, Zhang X. X, WU F, Ge J, Xie M, Preparation and electrochemical properties of re-synthesized LiCoO_2 from spent lithium-ion batteries, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 57, Issue 32, pp. 4188–4194, 2012.
- [17] Lee C. K, Rhee K. I, Preparation of LiCoO_2 from spent lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources*, Vol. 109, Issue 1, pp. 17–21, 2002.
- [18] Senčanski J, Vujković M, Stojković I, Majstorović D, Bajuk-Bogdanović D, Pastor F. T, Mentus S, Recycling of $\text{LiCo}_{0.59}\text{Mn}_{0.26}\text{Ni}_{0.15}\text{O}_2$ cathodic material from spent Li-ion batteries by the method of the citrate gel combustion, *Hemijska industrija*, Vol 71, Issue 3, pp. 211–220, 2017.
- [19] Jian-gang L, Qian Z, Xiang-ming H, Preparation of $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ cathode materials from spent Li-ion batteries, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 17, pp. 897–901, 2007.
- [20] Lee M. H, Kang Y. J, Myung S. T, Sun Y. K, Synthetic optimization of $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ via co-precipitation, *Electrochimica Acta*, Vol. 50, Issue 4, pp. 939–948, 2004.
- [21] Senčanski J, Bajuk-Bogdanović D, Majstorović D, Tchernychova E, Papan J, Vujković M, The synthesis of $\text{Li}(\text{Co-Mn-Ni})\text{O}_2$ cathode material from spent-Li ion batteries and the proof of its functionality in aqueous lithium and sodium electrolytic solutions, *Journal of Power Sources*, Vol. 342, pp. 690–703 2017.
- [22] Kim S. K, Yang D. H, Sohn J. S, and Jung Y. C, Re-synthesis of $\text{LiCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ as a Cathode Material for Lithium Secondary Batteries, *Metals and Materials International*, Vol. 18, Issue 2, pp. 321–326, 2012.
- [23] Nie H, Xu L, Song D, Song J, Shi X, Wang X, Zhang L, Yuan Z, LiCoO_2 : recycling from spent batteries and regeneration with solid state synthesis, *Green Chemistry*, Vol. 17, pp. 1276–1280, 2015.
- [24] Lu M, Zhang H, Wang B, Zheng X, Dai C, The Re-Synthesis of LiCoO_2 from Spent Lithium Ion Batteries Separated by Vacuum-Assisted Heat-Treating Method, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 8, pp. 8201 – 8209, (2013).
- [25] Kim J, Kim O, Park C, Lee G, and Shin D, Electrochemical Properties of $\text{Li}_{1+x}\text{CoO}_2$ Synthesized for All-Solid-State Lithium Ion Batteries with $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5$ Glass-Ceramics Electrolyte, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol 162, Issue 6, pp. 1041–1045, 2015.
- [26] Shaju K. M, Rao G. V. S, Chowdari B. V. R, Performance of layered $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ as cathode for Li-ion batteries, *Electrochimica Acta*, Vol. 48, Issue 2, pp. 145–151, 2002.
- [27] Luo X, Wang X, Liao L, Wang X, Gamboab S, Sebastian P. J, Effects of synthesis conditions on the structural and electrochemical properties of layered $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ cathode material via the hydroxide co-precipitation method LIB SCITECH, *Jnal of Power Sources*, Vol. 161, Issue 1, pp. 601–605, 2006.
- [28] Weng Y, Xu S, Huang G, Jiang C, Synthesis and performance of $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$ prepared from spent lithium ion batteries, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 246–247, pp. 163–172, 2013.

SUMMARY

THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR OF RE-SYNTHESIZED CATHODE MATERIAL FROM SPENT LI-ION BATTERIES IN AN ORGANIC ELECTROLYTE

The excessive use of Li-ion batteries has resulted in the growing necessity of developing a recycling procedure for them, particularly stemming from their negative impact on the environment as well as the fact that the natural-ore metals contained in them can be replaced. This work presents a re-synthesis of cathode material obtained from spent Li-ion batteries using the co-precipitation method in order to recycle it. The structure of the re-synthesized metal was characterized by XRD and the morphology by SEM. The chemical content of the spent cathode material was determined by FAAS. In order to prove functionality, the electrochemical behaviour was examined in a 1M solution of LiClO_4 in propylene carbonate by galvanostatic charging and discharging. Since the initial capacity of the re-synthesized material was 70.6 mAh g^{-1} when the current of charging/discharging was 100 mA g^{-1} , the fade of capacity was 13% after the initial five cycles. The electrochemical properties of the re-synthesized material were then finally compared to the material re-synthesized by the citrate gel combustion method.

Key words: lithium-ion batteries, the recycling of lithium-ion batteries, the co-precipitation method, $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$, an organic electrolyte