

doi:10.15199/48.2015.09.58

Trawienie plazmowe i ultradźwiękowe warstw tlenku indowo-cynowego (ITO) - Cz. II. Właściwości elektryczne diod OLED

Streszczenie. W pracy badano wpływ właściwości powierzchni warstw ITO trawionych w ultradźwiękach lub z wykorzystaniem tlenowego wyładowania jarzeniowego na właściwości elektryczne diod OLED. Analizując wyniki badań stwierdzono, że chropowatość powierzchni warstw ITO ma istotny wpływ na wartości gęstości prądu próbek diod OLED, a poza tym, że czyszczenie powierzchni z zastosowaniem tlenowego wyładowania jarzeniowego może być uznane za skuteczną metodę trawienia warstw ITO, wykorzystywanych jako anoda diod OLED.

Abstract. In this study, the influence of surface properties of ITO layers treated in ultrasonic or with using oxygen glow discharge on electrical properties of OLED samples was investigated. Experimental results showed that the electrical properties of OLED samples are closely related to the surface roughness of ITO layers and furthermore that the oxygen glow discharge surface treatment can be considered as an effective method for treated of ITO layers used as an anode of OLEDs. (*Plasma and ultrasonic treatment of indium-tin oxide (ITO) films Part. II Electrical properties of OLEDs*).

Słowa kluczowe: ITO, elektronika drukowana, OLED, właściwości elektryczne

Keywords: ITO, printed electronics, OLED, electrical properties

Wstęp

Organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED) przyciągnęły znaczną uwagę projektantów urządzeń nowej generacji, ponieważ mają wiele zalet, wśród których można wymienić niskie zużycie prądu, szeroką gamę kolorów, jak również możliwość aplikacji do elastycznych wyświetlaczy. Na ogół, OLED składa się z warstw organicznych umieszczonych pomiędzy przezroczystą anodą i metalową katodą. Jako anoda w strukturze OLED powszechnie stosowany jest tlenek indowo-cynowy (ITO) osadzony na podłożu szklanym [1 - 5]. Dlatego właściwości powierzchniowe ITO i właściwości granicy faz pomiędzy warstwą organiczną będącą w bezpośrednim kontakcie z anodą i elektrodą ITO odgrywają ważną rolę w działaniu diod OLED. Wszelkie nierówności powierzchni anody mogą mieć negatywny wpływ na właściwości produkowanego urządzenia. Kontrola morfologii powierzchni ITO odgrywa więc ogromną rolę przy określaniu właściwości struktur OLED budowanych z jego wykorzystaniem. Jest ona jednym z głównych problemów podczas produkcji struktur o długim czasie funkcjonowania [6 - 10].

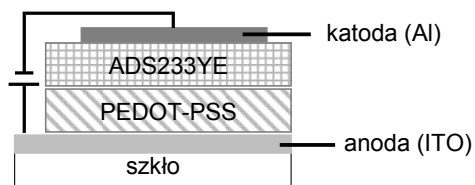
W poprzedniej części niniejszej pracy określano wpływ trawienia powierzchni warstw tlenku indowo-cynowego (ITO) na morfologię powierzchni tych warstw. Określano wartości kąta zwilżania oraz chropowatość warstw ITO po zastosowaniu trawienia w ultradźwiękach oraz trawienia plazmowego. Stwierdzono, że bardziej efektywną metodą czyszczenia powierzchni ITO jest czyszczenie plazmowe, które pozwala uzyskać wyższą wartość energii powierzchniowej ($66,7 \text{ mJ/m}^2$), niższą wartość chropowatości R_{pv} ($1,219 \text{ nm}$) i maksymalne zmniejszenie wartości kąta zwilżania powierzchni ITO (z $82,6^\circ$ do $37,6^\circ$ oraz z $73,5^\circ$ do $32,0^\circ$ odpowiednio dla kąta zwilżania θ_{DW} i θ_{EG}). Co oznacza, że ten sposób trawienia czyni powierzchnię ITO bardziej hydrofilową niż podczas czyszczenia z wykorzystaniem ultradźwięków.

W tej części pracy badano wpływ sposobu przygotowania powierzchni warstw ITO trawionych w ultradźwiękach lub plazmowo na właściwości elektryczne próbek diod OLED, w których ITO stanowiło anodę.

Eksperyment

Próbkami do badań były diody OLED przygotowywane w warunkach otoczenia (schemat diody wraz ze zdjęciem gotowej próbki przedstawiony jest na rysunku 1). Jako anodę używano warstwę ITO na szkło, której powierzchnia przygotowywana była dwoma sposobami – czyszczona w

ultradźwiękach w sekwencji roztworów aceton/alkohol etylowy lub trawiona plazmowo w napyłarce próżniowej poprzez zastosowanie tlenowego wyładowania jarzeniowego (O-GDT – ang.: oxygen glow discharge). Szczegółowy opis sposobów trawienia przedstawiono w pierwszej części artykułu. Dla porównania przygotowano również próbki na nietrawionej warstwie ITO. Na warstwę ITO za pomocą powlekania obrotowego nanoszono warstwę związku przenoszącego dziury (2% roztwór wodny PEDOT:PSS – ang. poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate); Orgacon Screenprint Ink Transparent EL-P3040 firmy Agfa) oraz związku emitującego światło (ADS233YE – roztwór o stężeniu 5 mg/ml w ksylie, nazwa handlowa: (Poly[(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl)-co-(1,4-benzo-{2,1',3}-thiadiazole)] 10 % benzothia-diazole(y), American Day). W pierwszej kolejności nanoszono dwie warstwy związku PEDOT:PSS z szybkością 7500 rpm. Warstwy suszono na płycie grzejnej w temperaturze 80°C w czasie 15 minut. Następnie nanoszono trzy warstwy związku ADS233YE z szybkością 4000 rpm. Tak przygotowane próbki również wygrzewano na płycie grzejnej w czasie 15 minut. Na koniec w napyłarce próżniowej naporowywano warstwę katody aluminiowej (ciśnienie naporowywania 10^{-3} mBar , grubość warstwy 100 nm). Probki OLED zostały nazwane następująco: D0 – przygotowywane na nietrawionym ITO, D1 – przygotowywane na warstwie ITO czyszczonej w ultradźwiękach i D2 – przygotowane na warstwie ITO czyszczonej plazmowo.



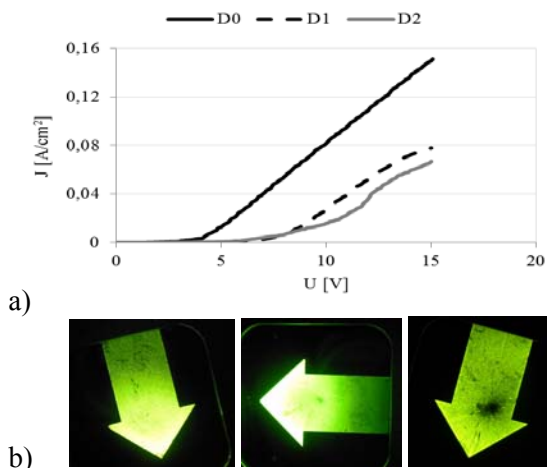
Rys. 1. Schemat struktury diody OLED oraz zdjęcie gotowej próbki

Bezpośrednio po wykonaniu badano charakterystyki prądowo - napięciowe próbek diod OLED z zastosowaniem zasilacza prądu stałego Typ HMP2020, Hameg Instruments w zakresie napięcia od 0 V do 20 V w warunkach otoczenia. Prezentowane wyniki są średnią z trzech pomiarów.

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystyki prądowo-napięciowe badanych próbek diod OLED. Stwierdzono, że próbki D1 i D2 przygotowane na trawionych powierzchniach ITO mają mniejsze wartości gęstości prądowych w porównaniu z próbkami diod OLED D0 przygotowanymi na nietrawionych warstwach ITO. Natomiast próbki D1 przygotowane na warstwie ITO trawionej w ultradźwiękach w sekwencji roztworów aceton/alkohol etylowy mają wyższe wartości gęstości prądowych w porównaniu z próbkami D2 przygotowanymi na ITO trawionym poprzez zastosowanie tlenowego wyładowania jarzeniowego (O-GDT).

W pierwszej części pracy stwierdzono, że wartości maksymalnej chropowatości powierzchni R_{pv} maleją w sekwencji: warstwy ITO nietrawione ($R_{pv} = 5,116$ nm), warstwy ITO trawione w ultradźwiękach ($R_{pv} = 4,145$ nm), warstwy ITO trawione próżniowo ($R_{pv} = 1,219$ nm). Sugeruje to, że na powierzchni ITO wykorzystywanych do przygotowania próbek diod D2 nie ma pojedynczych szpiców lub są najniższe w porównaniu z pozostałymi próbkami. Analiza profili fluktuacji chropowatości powierzchni badanych próbek potwierdziła te przypuszczenia – najniższe pojedyncze szpice obserwowano na powierzchni próbek ITO trawionych metodą plazmową.



Rys. 2. a) Charakterystyki prądowo - napięciowe dla próbek diod OLED przygotowanych na warstwach ITO o różnej morfologii powierzchni, b) przykładowe zdjęcia świecących próbek diod OLED

Ze względu na nanometryczne grubości organicznych warstw funkcjonalnych [11,12] szpice występujące na powierzchni anody ITO przenoszone są do warstw organicznych. Mogą one stać się centrami indukującymi prąd. W rezultacie tworzone są lokalne pola elektryczne co może być przyczyną wyższych wartości gęstości prądu dla próbek z wyższą wartością maksymalnej chropowatości powierzchni warstwy anody. Wartości chropowatości powierzchni podłoża, na którym wykonywane są próbki diod OLED są więc ważnym czynnikiem przyczyniającym się do niestabilności elektrycznej próbek OLED [13,14].

Podsumowanie

W pracy badano wpływ sposobu przygotowania powierzchni warstw ITO na właściwości elektryczne próbek diod OLED. Warstwy ITO były trawione na dwa sposoby – czyszczone w ultradźwiękach lub trawione z zastosowaniem tlenowego wyładowania jarzeniowego.

Analizując wyniki badań stwierdzono, że chropowatość powierzchni warstw ITO ma istotny wpływ na wartości gęstości prądu próbek diod OLED. Wysoka wartość R_{pv} świadczy o występowaniu na powierzchni ITO „szpiców”, które mogą być przyczyną występowania lokalnych pól elektrycznych i powodować zwiększenie wartości gęstości prądu. Wyniki badań potwierdziły tę hipotezę. Próbki OLED wykonane na trawionych warstwach ITO miały niższe (o około 55 mA/cm² do około 70 mA/cm²) wartości gęstości prądu niż próbki wykonane na warstwach ITO nietrawionych, które miały najwyższe wartości maksymalnej chropowatości R_{pv} (5,116 nm). Bazując na wynikach eksperymentu można stwierdzić, że czyszczenie plazmowe (T2) może być uznana za skuteczną metodę trawienia ITO wykorzystywanych jako anoda dla organicznych urządzeń emitujących światło.

LITERATURA

- [1] Li C.N., Kwong C.Y., Djuric A.B., Lai P.T., Chui P.C., Chan W.K., Liu S.Y., Improved performance of OLEDs with ITO surface treatments; *Thin Solid Films*, 477 (2005), 57-62
- [2] Kim S. H., Baek S. J., Chang Y. Ch., Chang H. J., Dependence of plasma treatment of ITO electrode films on electrical and optical properties of polymer light-emitting diodes, *Phys. Status Solidi A*, 209 (2012), 2317-2323
- [3] Zhong Z.Y., Jiang Y.D., Surface modification and characterization of indium-tin oxide for organic light-emitting devices, *J. Coll. Inter. Sci.*, 302 (2006), 613-619
- [4] Besbes S., Ouada H. B., Davenas J., Ponsoonnet L., Jaffrezic N., Alcouffe P., Effect of surface treatment and functionalization on the ITO properties for OLEDs, *Mater. Sci. Eng. C*, 26 (2006), 505-510
- [5] You Z.Z., Dong J. Ya, Effect of oxygen plasma treatment on the surface properties of tin-doped indium oxide substrates for polymer LEDs, *J. Coll. Inter. Sci.*, 300 (2006), 697-703
- [6] You Z.Z., Combined AFM, XPS, and contact angle studies on treated indium-tin-oxide films for organic light-emitting devices, *Mater Lett*, 61 (2007), 3809-3814
- [7] Petrosino M., Vacca P., Miscioscia R., Nenna G., Minarini C., Rubino A., Effect of electrodes properties on OLED performances, *Photonic Mater., Devices, and Appl. II, Proc. of SPIE*, vol. 6593, no. 659311 (2007)
- [8] Lin Y.-J., Baikie I.D., Chou W.-Y., Lin S.-T., Chang H.-C., Chen Y.-M., Liu W.-F., Changes in surface roughness and work function of indium-tin-oxide due to KrF excimer laser irradiation, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 23, 1305 (2005)
- [9] Kavei G., Zare Y., Mohammadi Gheidari A., Evaluation of Surface Roughness and Nanostructure of Indium Tin Oxide (ITO) Films by Atomic Force Microscopy, *Scanning*, 30 (2008), 232-239
- [10] Jonda Ch., Mayer A.B.R., Stolz U., Elschner A., Karbach A., Surface roughness effects and their influence on the degradation of organic light emitting devices, *J Mater Sci*, 35 (2000), 5645-5651
- [11] Futera K., Jakubowska M., Koziol G., Araźna A., Janeczek K., "Low cost Inkjet printing system for organic electronic applications", *9th International Conference Mechatronics*, 21-24.09.2011, Warszawa
- [12] Futera K., Printed electronic on flexible and glass substrates, *XII Int. PhD Workshop OWD 2010*, 23-26.X.2010, Wisła
- [13] Kim K.-B., Tak Y.-H., Han Y.-S., Baik K.-H., Yoon M.-H., Lee M.-H., Relationship between Surface Roughness of Indium Tin Oxide and Leakage Current of Organic Light-Emitting Diode, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42, L 438 (2003)
- [14] Tak Y.H., Kim K.B., Park H.G., Lee K.H., Lee J.R., Criteria for ITO (indium-tin-oxide) thin film as the bottom electrode of an organic light emitting diode, *Thin Solid Films*, 411 (2002), 12-16

Autorzy: dr inż. Kamil Janeczek, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: kamil.janeczek@itr.org.pl; dr inż. Aneta Araźna, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: aneta.arazna@itr.org.pl; mgr inż. Konrad Futera, Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: konrad.futera@itr.org.pl.