

## Streszczenie

Elektrody transparentne odgrywają ważną rolę w przyrządach współczesnej elektroniki. Znajdują zastosowanie m.in. w panelach dotykowych, ogniwach fotowoltaicznych, elementach grzejnych oraz w powierzchniach aktywnych sensorów. Najczęściej elektrody transparentne wytwarzane są za pomocą fizycznych oraz chemicznych metod osadzania z fazy gazowej (PVD i CVD), które stosowane są do osadzania powłok z tlenków przewodzących takich jak tlenek indy domieszkowany cyną. Z metodami próżniowymi związane jest wiele technologicznych problemów m.in. skomplikowana i kosztowna aparatura, zapewnienie jakości próżni w większych komorach oraz koszty instalacji i eksploatacji komór o dużych objętościach. Ponadto tlenki przewodzące nie nadają się do wytwarzania elastycznych elektrod transparentnych odpornych na wielokrotne cykle zginania. Poszukiwane są wielkoskalowe i bezpróżniowe metody takie jak druk (sitodruk, druk strumieniowy, fleksografia, grawiura, tampodruk), powlekanie zanurzeniowe czy powlekanie natryskowe. Metody te wymagają opracowania nowych materiałów, a także umożliwiają wyprodukowanie nowych produktów.

W ramach doktoratu opracowano nowatorskie materiały i metody wytwarzania elektrod transparentnych, których właściwości takie jak transmitancja optyczna oraz rezystancja powierzchniowa mogą być dostosowywane do zastosowań, w jakich elektroda ma pracować. Powłoki z polimerowych kompozytów zawierających nanocząstki węgla takie jak nanorurki węglowe oraz płatki nanoszone są metodą powlekania natryskowego na podłoża szklane oraz poliestrowe, a następnie utwardzane termicznie w temperaturach z zakresu  $30 \div 120$  °C. Modyfikacja właściwości fizycznych opracowanych elektrod odbywa się poprzez odpowiedni dobór składu farb tzn. zawartości i rodzaju nanostruktur węglowych (nanorurek węglowych oraz płatków grafenu), osnowy polimerowej, rozpuszczalników oraz środków powierzchniowo czynnych. Dodatkowo właściwości elektrody dostosowywane są na etapie procesu powlekania natryskowego poprzez regulację grubości powłoki.

W pracy przedstawiono również wyniki badań demonstratorów elektronicznych wykorzystujących opracowane elektrody transparentne, takich jak wyświetlacze elektroluminescencyjne oraz transparentne elementy grzejne. Zaproponowano również dalsze kierunki badań, które pozwolą na rozwój opisywanej technologii, dzięki czemu możliwe będzie stworzenie nowych produktów.

## Abstract

Transparent electrodes are one of the basic elements of contemporary electronics including touch panels, photovoltaic cells, heating elements and sensors active surfaces. Generally transparent electrodes are fabricated with physical and chemical vapor deposition methods (PVD and CVD), which are used for the deposition of coatings from conductive oxides like indium tin oxide. Vacuum techniques are strongly linked with many technological issues like complicated and expensive equipment, problems in providing stable quality of vacuum in larger chambers and high installation and exploitation costs. Moreover conductive oxides are brittle thus they are not suitable for flexible electronics applications which could be resistant for multi-cycle bending. Therefore there is a need for large-scale and vacuum-free methods like printing (screen printing, inkjet printing, flexography, gravure or stamp printing), dip coating or spray coating. The use of these methods need the development of particular materials and allow the fabrication of new electronic products.

The dissertation describes the development of materials and methods of transparent electrodes fabrication, where properties like optical transmittance and sheet resistance may be tuned adequately to the application of the electrode. Coatings from polymer composites filled with carbon nanomaterials like carbon nanotubes and graphene platelets are deposited with spray coating technique on glass and polyester substrates and afterwards thermally cured in temperatures from the range  $30 \div 120$  °C. The modification of physical properties of developed electrodes is performed through the proper selection of the paint composition i.e. content and type of carbon nanostructures (carbon nanotubes and graphene platelets), polymer resin, solvents and surface active agents. Moreover the properties of the electrode are customized during the spraying process through the thickness regulation of the coating.

The work presents also the results from the investigations of electronic demonstrators which were made with the use of elaborated transparent electrodes. These demonstrators concern among the others electroluminescent displays and transparent heating elements. On the end of the thesis, author suggested further research topics which will allow the development of described technology, what will allow the production of new electronic products.