

KEY ROLE OF ION BEAM TECHNOLOGIES FOR APPLICATION IN MICROELECTRONICS, OPTICS AND SENSORS

A. Macková^{a,b*}, A. Jagerová^{a,b}, P. Malinsky^{a,b}, M. Cutroneo^a, P. Nekvindová^c, A. Michalcová^d, V. Holý^e, Z. Sofer^c, S. Akhmadaliev^d, R. Böttger^d

^a*Nuclear Physics Institute of the Czech Academy of Sciences, v. v. i., 250 68 Řež, Czech Republic*

^b*Department of Physics, Faculty of Science, J.E. Purkinje University, České Mládeže 8, 400 96 Ústí nad Labem, Czech Republic*

^c*Department of Inorganic Chemistry, University of Chemistry and Technology, 166 28 Prague, Czech Republic*

^d*Department of Metals and Corrosion Engineering, University of Chemistry and Technology, 166 28 Prague, Czech Republic*

^e*Department of Condensed Matter Physics, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University Ke Karlovu 5, 121 16 Prague 2, Czech Republic*

^d*Institute of Ion Beam Physics and Materials Research, Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf, 01328, Dresden, Germany*

Abstract

Due to its versatility, the ion beam technology is an attractive and commonly used method for the incorporation of various ions into a single- and nano-crystal ZnO structure, bulk ZnO nanostructuring, optical active particle/defects engineering, surface nano-patterning and lithography. The latter one is nowadays important as well in semiconductors as in graphene oxide. Both so distinct materials find their application in sensing and bionics applications with the functionalization via ion beam technology. Metal oxides based efficient photocatalysts can be an efficient green approach for relieving the negative environmental influence of organic pollutants on the ecosystem [1,2]. Noble metal nanoparticles can expand the light absorption range of ZnO and can greatly enhance the ZnO photocatalytic activity given their plasmonic or luminescence properties [3, 4], a use of enriched ZnO nanostructures as nanosized biosensors has also been explored for the detection of different biological molecules [5]. Defect clustering and engineering, dopant interaction with defects in ZnO after ion implantation/irradiation allow formation of doped-nanocrystallites to be controlled and tuned in ZnO. Graphene-like materials have aroused significant interest for supercapacitors and ultrasensitive gas detectors because of their remarkably high carrier mobility, extraordinary surface area, 2D structure and cost-effective easy-to-prepare nanoscale morphologies [6]. Graphene oxide (GO) is decorated with epoxides and hydroxyls on basal planes and carbonyls and carboxyls on the edges, which increase the hydrophilicity of GO and consequently enhance its sensitivity to water molecules [6]. Ion lithography can be successfully used for microscale device preparation in GO prospective for flexible electronics as well as for sensing applications see Fig. 1 [6, 7]. The microscale capacitors in GO can respond to external stimuli, such as voltage, mechanical deformation, temperature, light and electrochemical reduction/oxidation processes [8]. In both above mentioned materials the ion beam technology has

been successfully used for nano and microstructuring, optical response tuning and surface nano-patterning/lithography enabling new prospective applications [3, 8, 9, 10].

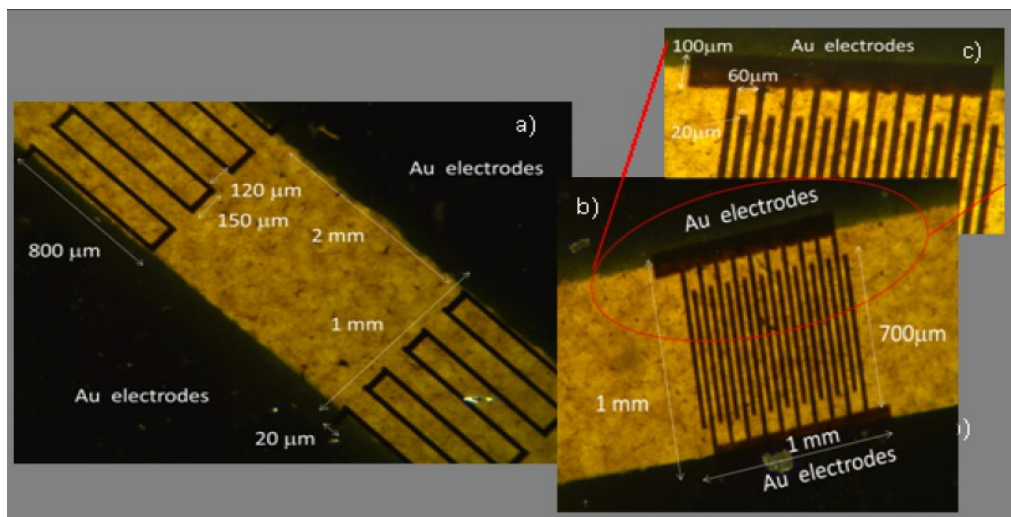


Figure 1

Optical microscope images of the GO

microcapacitor examples prepared by the C-ion, 5MeV via ion beam lithography.

Acknowledgement

The research has been carried out at the CANAM (Centre of Accelerators and Nuclear Analytical Methods) infrastructure. This research was supported by the projects GACR No. 19-02482S and No. 22-10536S.

References:

1. J.Liu, Y.Wang, J.Ma, Y.Peng, A.Wan, *Journal of Alloys and Compounds* 783 (2019) 898.
2. M.Samadi, M.Zirak, A.Naseri, E.Khorashadizade, A.Z.Moshfegh, *Thin Solid Films* 605 (2016) 2.
3. A. Macková, P. Malinský, A. Jagerová et al, *Vacuum* 169 (2019) 108892.
4. L.Ma, S.Chen, Y.Shao, Y.L.Chen, M.X.Liu, H.X.Li, T.L.Mao, S.J.Ding, *Catalysts* 8 (2018) 634.
5. E.Danielson, V.Dhamodharan, A. Porkovich, P. Kumar et al, *Sci. Rep.* 9 (2019) 17370.
6. D. Zhang, J. Tong, B. Xia, Q. Xue, *Sensor Actuat B-Chem.* 203 (2014) 263–270.
7. A. Lamberti, F. Perrucci, M. Caprioli, M. Serrapede, M. Fontana, S. Bianco, S. Ferrero, E. Tresso, *Nanotechnology* 28 (2017) 174002.
8. P. Malinský, A. Romanenko, A. Macková et al, *Applied Surface Science* 528 (2020) 146802.
9. P. Nekvindová, J. Cajzl, A. Macková, et al, *Journal of Alloys and Compounds* 816 (2020) 152455.
10. A.Macková, A.Jagerová, P.Malinsky, M.Cutroneo, J.Flaks, P.Nekvindová, A.Michalcová, V.Holý, T.Košutová, *Physical Chemistry Chemical Physics* 22(41) (2020) 23563-23573.
11. A.Yu Azarov, E.Wendler, A.Yu Kuznetsov, B.G. Svensson, *Appl. Phys. Lett.* 104 (2014) 052101.
12. A.Yu Azarov, A.Hallén, X.L.Du, P.Rauwel, A.Yu Kuznetsov, B.G. Svensson, *J. Appl. Phys.* 115 (7) (2014) 073512.

13. B. Jany, N. Gauquelin, T. Willhammar, M. Nikiel, K. H. W. van den Bos, et al, Sci. Rep. 7 (2017) 42420.

KLÍČOVÁ ROLE TECHNOLOGIÍ S VYUŽITÍM IONTOVÝCH SVAZKŮ PRO POUŽITÍ V MIKROELEKTRONICE, OPTICE A SENZORECH

A. Macková^{a,b*}, A. Jagerová^{a,b}, P. Malinský^{a,b}, M. Cutroneo^a, P. Nekvindová^c, A. Michalcová^d, V. Holý^e, Z. Sofer^c, S. Akhmadaliev^d, R. Böttger^d

^aÚstav jaderné fyziky Akademie věd České republiky, v. v. i., 250 68 Řež, Česká republika.

^bKatedra fyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita J. E. Purkyně, České Mládeže 8, 400 96 Ústí nad Labem, Česká republika.

^cKatedra anorganické chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 166 28 Praha, Česká republika.

^dKatedra kovů a korozního inženýrství, Vysoká škola chemicko-technologická, 166 28 Praha, Česká republika

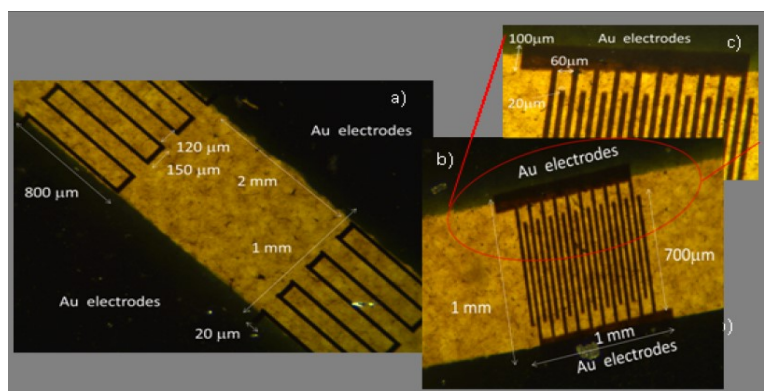
^eKatedra fyziky kondenzovaných látek, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Ke Karlovu 5, 121 16 Praha 2, Česká republika

^dInstitut fyziky iontových svazků a materiálového výzkumu, Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf, 01328, Drážďany, Německo

Abstrakt

Technologie iontových svazků je díky své univerzálnosti atraktivní a běžně používanou metodou pro inkorporaci různých iontů do monokrystalické a nanokrystalické struktury ZnO, objemovou nanostrukturalizaci ZnO, optické inženýrství aktivních částic/defektů, povrchové nanostrukturování a litografii. Posledně jmenovaná metoda je dnes důležitá jak v polovodičích, tak v oxidu grafenu. Oba takto odlišné materiály nacházejí uplatnění v sensorických a bionických aplikacích, kde se také významně uplatňují modifikace iontovými svazky. Účinné fotokatalyzátory na bázi oxidů kovů mohou být efektivním ekologickým přístupem ke zmírnění negativního vlivu organických polutantů na životní prostředí [1,2]. Nanočástice vzácných kovů mohou rozšířit rozsah absorpce světla aktivních povrchů ZnO a vzhledem ke svým plazmonickým nebo luminiscenčním vlastnostem mohou výrazně zvýšit fotokatalytickou aktivitu ZnO [3, 4], zkoumalo se také využití obohacených nanostruktur ZnO jako nanosenzorů pro detekci různých biologických molekul [5]. Shlukování a vznik radiačních defektů, interakce dopantu s defekty v ZnO po implantaci/ozáření ionty umožňují řídit a ladit tvorbu dopovaných nanokrystalitů v ZnO.

Materiály podobné grafenu vzbudily značný zájem pro využití jako superkondenzátory a ultrasenzitivní detektory plynů díky své pozoruhodně vysoké mobilitě nosičů náboje, mimořádně velkému efektivnímu povrchu, 2D struktuře a cenově výhodné snadno připravitelné morfologii v nanorozměrech [6]. Oxid grafenu (GO) je na bazálních rovinách doplněn epoxidovými a hydroxylovými skupinami a na okrajích karbonylovými a karboxylovými skupinami, které zvyšují hydrofilitu GO a následně zvyšují jeho citlivost k molekulám vody [6]. Iontovou litografií lze úspěšně použít pro přípravu zařízení v mikroměřítku v GO pro flexibilní elektroniku i pro senzorické aplikace viz obr. 1 [6, 7]. Mikro-kondenzátory v GO mohou reagovat na vnější podněty, jako je napětí, mechanická deformace, teplota, světlo a elektrochemické redukční/oxidační procesy [8]. V obou výše uvedených materiálech byly iontové svazky úspěšně použity pro nano- a mikrostrukturování, ladění optické odezvy a nanostrukturování/litografii povrchů, což umožňuje nové perspektivní aplikace v řadě oborů [3, 8, 9, 10].



Obrázek 1

Optické snímky GO mikrokondenzátorů připravených pomocí C-iontů, 5MeV pomocí litografie iontovým svazkem.

Poděkování

Výzkum byl proveden v infrastruktuře CANAM (Centrum urychlovačů a jaderných analytických metod). Tento výzkum byl podpořen projekty GAČR č. 19-02482S a 22-10536S.

Reference:

1. J.Liu, Y.Wang, J.Ma, Y.Peng, A.Wan, *Journal of Alloys and Compounds* 783 (2019) 898.
2. M.Samadi, M.Zirak, A.Naseri, E.Khorashadizade, A.Z.Moshfegh, *Thin Solid Films* 605 (2016) 2.
3. A. Macková, P. Malinský, A. Jagerová et al, *Vacuum* 169 (2019) 108892.
4. L.Ma, S.Chen, Y.Shao, Y.L.Chen, M.X.Liu, H.X.Li, T.L.Mao, S.J.Ding, *Catalysts* 8 (2018) 634.
5. E.Danielson, V.Dhamodharan, A. Porkovich, P. Kumar et al, *Sci. Rep.* 9 (2019) 17370.
6. D. Zhang, J. Tong, B. Xia, Q. Xue, *Sensor Actuat B-Chem.* 203 (2014) 263–270.
7. A. Lamberti, F. Perrucci, M. Caprioli, M. Serrapede, M. Fontana, S. Bianco, S. Ferrero, E. Tresso, *Nanotechnology* 28 (2017) 174002.
8. P. Malinský, A. Romanenko, A. Macková et al, *Applied Surface Science* 528 (2020) 146802.
9. P. Nekvindová, J. Cajzl, A. Macková, et al, *Journal of Alloys and Compounds* 816 (2020) 152455.
10. A.Macková, A.Jagerová, P.Malinsky, M.Cutroneo, J.Flaks, P.Nekvindová, A.Michalcová, V.Holý, T.Košutová, *Physical Chemistry Chemical Physics* 22(41) (2020) 23563-23573.
11. A.Yu Azarov, E.Wendler, A.Yu Kuznetsov, B.G. Svensson, *Appl. Phys. Lett.* 104 (2014) 052101.

12. A.Yu Azarov, A.Hallén, X.L.Du, P.Rauwel, A.Yu Kuznetsov, B.G. Svensson, J. Appl. Phys. 115 (7) (2014) 073512.
13. B. Jany, N. Gauquelin, T. Willhammar, M. Nikiel, K. H. W. van den Bos, et al, Sci. Rep. 7 (2017) 42420.