

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0745****Výskum technológie nanoobrábania pre aktívne povrchy novej generácie rtg optiky**Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Eva Majkova, DrSc.**Príjemca **Fyzikálny ústav SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Fyzikálny ústav, Slovenská akadémia vied
Elektrotechnický ústav, Slovenská akadémia vied

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno, ČR
2. Institute of Materials for Electronics and Magnetism (IMEM), CNR, Parma, Taliansko
3. Department of Materials Science and Engineering, Tel Aviv University, Izrael
4. Erich Schmid Institute of Materials Science and Montanuniversität Leoben, Rakúsko
5. Center for Free-Electron Laser Science, DESY, Hamburg, Nemecko

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Prihláška patentu č. PP50023-2019 Spôsob opracovania a nástroj na opracovanie vnútorných stien kanálikov v krehkých materiáloch v nanometrovej oblasti.

Pôvodcovia : D. Korytár, M. Svorada, Z. Zápražný

Prihlasovatelia : Elektrotechnický ústav SAV, Integra TDS, s.r.o. Piešťany

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. K.Végső, M.Jergel, P.Šiffalovič, E.Majková, D.Korytár, Z.Zápražný, P.Mikulík, P.Vagovič: Towards High-Flux X-ray Beam Compressing Channel-Cut Monochromators, J. Appl. Cryst. 49 (2016), 1885 (doi: 10.1107/S1600576716013376)
2. M.Hodas, P.Šiffalovič, M.Jergel, M.Pelletta, Y.Halahovets, K.Vegso, M.Kotlár, E.Majková: Kinetics of Copper Growth on Graphene Revealed by the Time-Resolved Small-Angle X-ray Scattering, Phys. Rev. B 95 (2017), art.no. 035424 (doi: 10.1103/PhysRevB.95.035424)
3. K.Vegso, P.Šiffalovič, M.Jergel, P.Nádaždy, V.Nádaždy, E.Majková : Kinetics of Polymer-Fullerene Phase Separation During Solvent Annealing Studied by Table-top X-ray Scattering, ACS Applied Mater. & Interfaces 9 (2017), 8241 (doi: 10.1021/acsami.6b15167)
4. M.Jergel, Y.Halahovets, I.Matko, D.Korytár, Z.Zápražný, J.Hagara, P.Nádaždy, P.Šiffalovič, J.Kečkeš, E.Majková : Finishing of Ge Nano-machined Surfaces for X-ray Crystal Optics, Int. J. Adv. Manuf. Technology 96 (2018), 3603-3617 (doi: 10.1007/s00170-018-1853-9)
5. D.Korytár, Z.Zápražný, C.Ferrari, C.Frigeri, M.Jergel, I.Matko, J.Kečkeš : Cross-Sectional TEM Study of Subsurface Damage in SPDT Machining of Germanium Optics, Applied Optics, Applied Optics 57 (2018), 1940-1943 (doi: 10.1364/AO.57.001940)
6. P.Nádaždy, J.Hagara, M.Jergel, E.Majková, P.Mikulík, Z.Zápražný, D.Korytár, P.Šiffalovič

: Exploiting the Potential of Beam Compressing Channel-cut Monochromators for Laboratory High-resolution Small-angle X-ray Scattering Experiments, J. Appl. Cryst. 52 (2019), 498-506 (doi: 10.1107/S1600576719003674)

7. Z.Zápražný, D.Korytár, M.Jergel, Y.Halahovets, M.Kotlár, I.Maťko, J.Hagara, P.Šiffalovič, J.Kečkéš, E.Majková : Characterization of the chips generated by the nanomachining of germanium for X-ray crystal optics, Int. J. Adv. Manuf. Technology 102 (2019), 2757-2767 (doi: 10.1007/s00170-019-03392-z)

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu sa uplatnia pri návrhu a príprave nových prvkov rtg kryštálovej optiky pre rtg metrológiu a rtg zobrazovanie, ktoré nie sú komerčne dostupné. Vyvinutá technológia nanoobrábania aktívnych povrchov rtg optiky nájde uplatnenie aj v iných oblastiach, kde sa vyžadujú povrchy presných tvarov typu "free form". (formy s vysokou presnosťou, optické hranoly, zrkadlá, mriežky, koncentrátory). Originálna metóda mapovania výstupných parametrov kanálikových rtg monochromátorov a ich zostáv vyvinutá a demonštrovaná v rámci projektu umožňuje cielený vývoji novej generácie kompaktných vysokovýkonných mikrofokusných rtg zdrojov založených na kombinácii reflexnej a difrakčnej rtg optiky.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Bola vyvinutá metóda nanoobrábania krehkých materiálov metódou jednobodového sústruženia diamantovým hrotom v plastickom režime, ktorá umožňuje prípravu vysoko kvalitných povrchov rtg optiky ľubovoľných tvarov. Táto metóda bola aplikovaná na prípravu V-kanálikových rtg monochromátorov na báze germánia s vysokým tokom fotónov na výstupe, ktorá vyústila do podania prihlášky patentu. Na základe dynamickej teórie rtg difrakcie a metódy "ray tracing" bola vypracovaná metóda cieleného návrhu V-kanálikových rtg monochromátorov, ktorá mapuje zvolený výstupný parameter monochromátora v závislosti od uhlov asymetrie jednotlivých difrakcií. Takto navrhnuté V-kanálikové monochromátory na báze germánia boli pripravené novou technológiou nanoobrábania v spolupráci s odberateľom výsledkov projektu, firmou Integra TDS, s.r.o., Piešťany. Výsledky testov vzbudili záujem renomovaných výrobcov mikrofokusných rtg zdrojov v Nemecku a Francúzsku, čoho výsledkom bol návrh a príprava originálnej štvorodrazovej zostavy dvoch V-kanálikových rtg monochromátorov v kvázidisperznom usporiadaní pre rtg mikrofokusné zdroje firiem Excillum a Xenocs. Táto zostava dodáva štvornásobne vyšší fotónový tok na pixel detektora oproti tradičnému Bartelsovmu monochromátoru pri stále vysokom rozlíšení. To otvára možnosti vývoja nových kompaktných vysokovýkonných laboratórnych rtg zdrojov založených na kombinácii rtg reflexnej a difrakčnej optiky s priamym dopadom na vysoko efektívnu diagnostiku nanomateriálov a nanoštruktúr. Prvé prototypy sa v súčasnosti testujú v rtg laboratóriu Fyzikálneho ústavu SAV (zdroj Excillum) a rtg laboratóriu spolupracujúcej univerzity Tel Aviv (zdroj Xenocs).

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

A single-point diamond turning method of nanomachining of brittle materials in ductile regime was developed that allows preparation of high-quality free-form surfaces of X-ray optics. This method was applied to the preparation of germanium V-channel monochromators with high output photon flux that resulted in submission of a patent application. Relying on the dynamical theory of X-ray diffraction and the ray tracing method, a method of targeted design of the V channel monochromators was worked out. The method maps a chosen output parameter of the monochromator depending on the asymmetry angles of individual diffractions. The germanium V-channel monochromators designed in this way were prepared by the new technology of nanomachining in collaboration with the beneficiary of the project results Integra TDS, s.r.o. company, Piešťany. The test results attracted attention of renowned producers of the microfocus X-ray sources in France and Germany, resulting in a design and preparation of a 4-bounce quasi-dispersive setup of two V-channel monochromators for the microfocus X-ray sources of Excillum and Xenocs companies. This setup delivers a 4-times higher photon flux per detector pixel comparing to traditional Bartels monochromator, keeping still high resolution. This opens new possibilities in the development of new compact high-power laboratory X-ray sources based on a

combination of the reflective and diffractive X-ray optics with direct implications for highly effective diagnostics of nanomaterials and nanostructures. The first prototypes are being tested at present in the X-ray laboratory of the Institute of Physics SAS (Excillum source) and X-ray laboratory of Tel Aviv university (Xenocs source).