

Příprava scintilační vrstvy z nanoprášku pro X-ray analýzu

Bc. Ondřej Zapadlík <ondrej.zapadlik@tul.cz>, doc. Ing. Petr Exnar, CSc.

Tato práce se zabývá přípravou scintilačních vrstev z nanoprášků pro X-ray zobrazovací analýzu. Scintilační nanoprášky LuAG:Ce a YSO:Ce byly připraveny radiačně-chemickou cestou. Pro přípravu vrstev byly zvoleny metody spincoating a elektroforetická depozice. Kvalita připravených vrstev byla zhodnocena na základě homogenity a optických vlastností pomocí X-ray zobrazovací aparatury ve firmě Crytur. Z výsledků experimentů plyne, že potenciálně nejvyšší kvalita vrstev lze z vybraných metod připravit elektroforetickou depozicí.

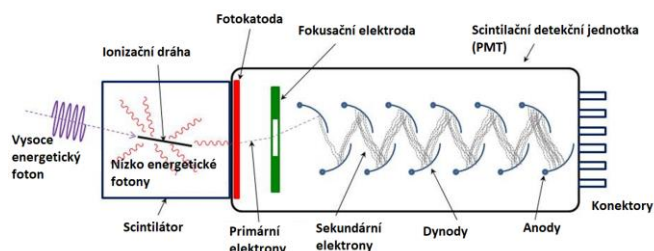
Klíčová slova: Scintilátory, nanoprášky, příprava vrstev, X-ray, elektroforetická depozice

Úvod

Motivací této práce je vytvořit scintilační vrstvu s lepšími vlastnostmi z nanoprášků než scintilační vrstvy připravované z mikroprášků ve firmě Crytur v Turnově. Scintilace je jev, při kterém interakcí látky s ionizačním zářením dojde k excitaci elektronů za současného vytvoření díry. Snaha atomu dostat se do základního stavu vynutí elektron z vyšší hladiny zaplnit elektronovou díru. Poté tedy dochází k jejich relaxaci do základního stavu za současného vyzáření UV/VIS.

V dnešní době je předmětem mnoha studií vývoj scintilátorů s lepší svítivostí a celkovým prostorovým rozlišením pro zobrazování [1, 2]. Nanopráškové scintilátory díky své velikosti vykazují jedinečné vlastnosti. Nejatraktivnější vlastností na nanopráškových scintilátorech je jejich násobně větší světelná účinnost [3].

Další jejich výhodou je, že lze díky jejich menší hrubosti (plošné porositě) lépe povrchově upravovat (např. napařováním). Pro praktické využití jsou kladeny požadavky převážně na jejich velikost částic, hustotu pro vysokou absorpci X-ray, vysoký světelný výtěžek a samozřejmě na jejich cenu [4].

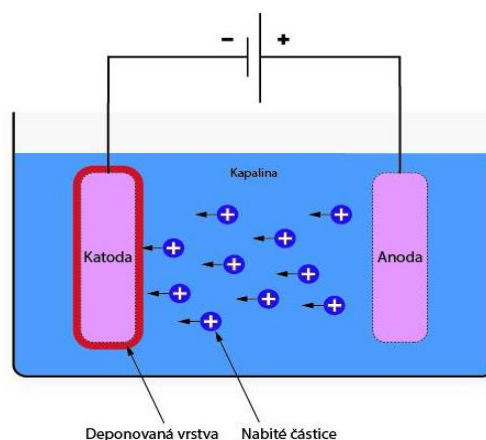


Obrázek 1: schéma konstrukce a principu scintilační detekční jednotky. Přeloženo do češtiny a převzato z [5].

Metodika

Jako testovací vzorek pro vyzkoušení metod pro přípravu vrstev byl použit nedopovaný yttrito-hlinitý granát (YAG). Jako prášky s optickými vlastnostmi, na kterých byly proměřeny optické vlastnosti vrstev, byly zvoleny lutecio-hlinitý granát dopovaný cerem (LuAG:Ce) a orthosilikát yttria taktéž dopovaný cerem (YSO:Ce („P47“)).

Pro přípravu vrstev se ukázala potenciálně nejlepší elektroforetická depozice (EPD). Základní myšlenka EPD spočívá ve využití pohybu nabitých částic v roztoku pod působením elektrického pole. Pohyb částic je způsoben nábojem částic. V závislosti na náboji elektrody, na které dochází k depozici částic, hovoříme poté o anodické resp. katodické EPD. Aparaturu pro EPD jsem osobně navrhl a vyrobil.



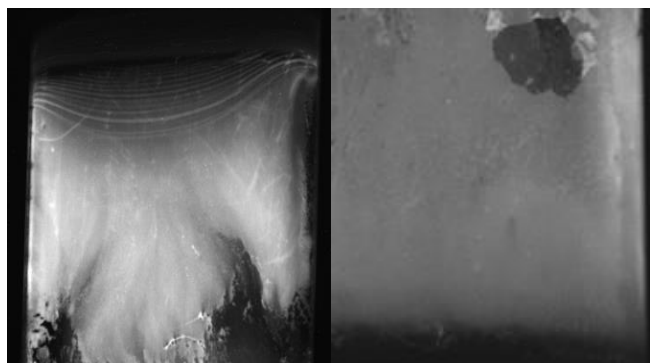
Obrázek 2: Princip elektroforetické depozice.

Kvalita připravených vrstev byla zhodnocena na základě homogenity a optických vlastností pomocí X-ray zobrazovací aparatury ve firmě Crytur.

Výsledky a diskuze

Nejkvalitnějších vrstev bylo dosaženo pomocí EPD, kdy jemná frakce nanoprášků byla rozdispergována v IPA. Na snímcích vidíme výrazné defekty vrstvy. Většina defektů ve spodních částech je způsobena vytáhnutím sklíčka z aparatury.

Použitím motorizovaného vysouvače lze tomuto zabránit. Vrstvy obsahují homogenní oblasti, které dokazují, že metodu optimalizací lze použít pro vytvoření kvalitní vrstvy. Tloušťku vrstvy ovlivňujeme počtem opakování depozice. Při dlouhé depozici (30 minut) bez výměny roztoku dojde vlivem napětí k agregaci částic a koncentračnímu gradientu v roztoku. Tento jev má za následek tvorbu nehomogenní vrstvy. Efekt je velmi znatelný v oblasti menisku.



Obrázek 3: Snímky scintilačních vrstev připravené EPD zobrazené pod X-ray. Homogenní oblasti vrstev a defekt v okolí menisku roztoku.

Závěr

Na základě rešerše jsem vybral jako nejvhodnější metody pro přípravu vrstev z nanoprášků metody spin coating a elektroforetickou depozici. Doplnující metoda pro porovnání chování prášků v různých dispergačních kapalinách je odpařování. Provedl jsem sadu experimentů odpařování s různými dispergačními kapalinami a určil jako nevhodnější IPA a H₂O. Pomocí spin coatingu byly připraveny vrstvy, díky kterým bylo zjištěno, že tloušťka vrstev připravená sol-gel metodou není dostatečná, aby byla scintilace porovnatelná s ostatními vrstvami. Pro testy elektroforetické depozice jsem vyrobil jednoduchou aparaturu, pomocí které bylo provedeno několik experimentů. Byly připraveny vrstvy při různých podmínkách EPD (napětí, koncentrace roztoku, typ substrátu).

Hlavním přínosem této práce jsou data a poznatky, díky kterým mohu navrhnout směr pokračování výzkumu. Zásadní vliv na kvalitu vrstev má stabilizace suspenze při experimentech. Pro elektroforetickou depozici je vhodné navrhnout sofistikovanější aparaturu se softwarovou automatizací procesu. Stabilizací suspenze a použití vhodných podmínek EPD lze připravit kvalitní scintilační vrstvy z nanoprášků. Zajímavou cestou je výzkum rozlišovací schopnosti homogenních tenkých scintilačních stínítek.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat FJFI ČVUT, UFE AV a firmě Crytur za dodání materiálům a přístup k měřicím přístrojům. Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2018.

Reference

- [1] SAHLHOLM, Anna. Scintillator technology for enhanced resolution and contrast in X-ray imaging. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* [online]. 2011, **648**, S16–S19. ISSN 0168-9002.
- [2] DOUISSARD, P. A. Scintillating Screens for Micro-Imaging Based on the Ce-Tb Doped LuAP Single Crystal Films. *IEEE Transactions on Nuclear Science* [online]. 2014, **61**(1), 433–438. ISSN 0018-9499. Dostupné z: doi:10.1109/TNS.2013.2282181
- [3] MCKIGNEY, Edward A. Nanocomposite scintillators for radiation detection and nuclear spectroscopy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* [online]. ISSN 0168-9002. Dostupné z: doi:10.1016/j.nima.2007.04.004
- [4] NIKL, Martin. Moderní anorganické scintilační materiály: Fyzika a aplikace. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 2003, **48**(4), 294–307.
- [5] *Photomultiplier* [online]. 2018 [vid. 2018-03-26]. Dostupné: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Photomultiplier&oldid=830444310>