

PLASMONIC STRUCTURES FABRICATED BY E-BEAM LITHOGRAPHY

Marcel Šimík

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xsimik01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Stanislav Krátký

E-mail: kratky@isibrno.cz

Abstract: Plasmonic structures were formed using an electron beam lithograph in the positive resist polymethyl methacrylate (PMMA) on a silicon wafer. We also compared the PMMA resist with resist hydrogen silsesquioxane. Evaluation was carried out using a confocal laser microscope and electron microscope. We have created structures with different exposure doses in order to determine the optimal.

Keywords: Electron-beam lithography, Electron-beam writer, plasmonic structures, PMMA.

1. ÚVOD

Elektronová litografie byla vynalezena pro možnost použití při výrobě integrovaných obvodů. V dnešní době však nalézá uplatnění i v jiných oborech. Jde především o přípravu mikro a nano struktur. Plazmonické struktury patří do této kategorie a elektronová litografie se nabízí jako vhodný nástroj pro jejich přípravu.

Plazmonické struktury byly vytvořeny pomocí elektronového litografu do pozitivního rezistu polymethylmethakrylát (PMMA) na křemíkové destičce. Vyhodnocení probíhalo s pomocí konfokálního laserového mikroskopu a elektronového mikroskopu. Porovnávali jsme také rezist PMMA s rezistem hydrogen silsesquioxane.

2. ELEKTRONOVÁ LITOGRAFIE

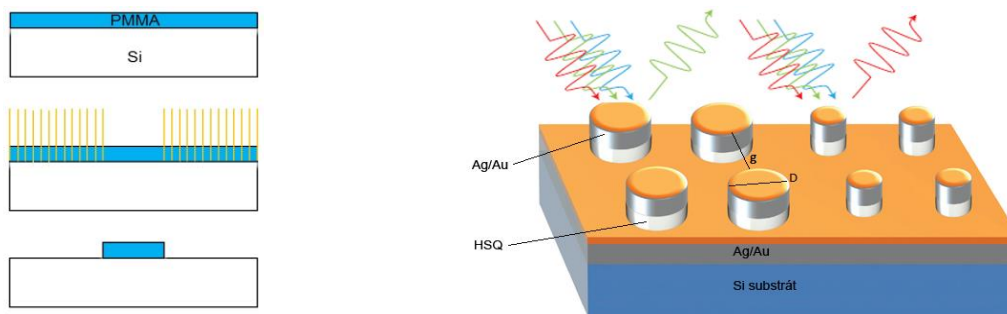
Elektronové litografie využívá netermických interakce svazku elektronů s vrstvou rezistu. Při průchodu elektronů vrstvou rezistu dochází k předání energie elektronu do ozařovaného materiálu. Křemíková podložka není v našem případě pro vlastní litografický proces funkční, slouží pouze jako nosič rezistu.[2]

Proces elektronové litografie můžeme dělit do těchto kroků (obr. 1):

- Nanesení rezistu – zde je zahrnuta příprava podložky, včetně čištění dále pak nanesení rezistu a jeho sušení.
- Expozice rezistu elektronovým svazkem – dochází k expozici připravených datových struktur pomocí elektronového litografu.
- Vyvolání rezistu- s pomocí roztoku vývojky na bázi izopropylalkoholu je odplaven nežádoucí rezist.

2.1. PLAZMONICKÉ STRUKTURY

Plazmonické struktury se vyznačují tím, že při dopadu fotonů na tyto struktury, je vybuzena plazmonická vlna. Touto vlnou, která se pohybuje po povrchu, jsou vyraženy další fotony o určité vlnové délce. Samotná barva, která vznikne v určitém bodě je odvozena od velikosti jednotlivých plazmonů (tzn. jejich průměr D a jejich vzdálenost g (obr 1)).



Obrázek 1: Proces elektronové litografie (vlevo), princip plazmonického jevu [1] (vpravo).

3. PŘÍPRAVA VZORKU

Substrát byl tvořen křemíkovou podložkou a vrstvou rezistu PMMA [3] o tloušťce přibližně 80 nm. Expoziční data byla rozvržena do velké matice čtverců s počtem 10 řádků a 10 sloupců. Jednotlivé čtverce pak byly vyplněny strukturami koleček s průměrem od 50 do 140 nm a vzdálenostmi mezi nimi od 30 do 120 nm. V levém dolním rohu matice byly průměry i vzdálenosti nejmenší. Směrem doprava se zvětšovala vzdálenosti, směrem nahoru pak průměry. Struktury byly navrženy stejně jako v článku z [1].

Těchto matic bylo vytvořeno devět s různými expozičními dávkami v rozsahu 400 až 560 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ s krokem 20 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, protože nebylo jasné, která dávka bude z hlediska barevného výsledku nejvýhodnější.

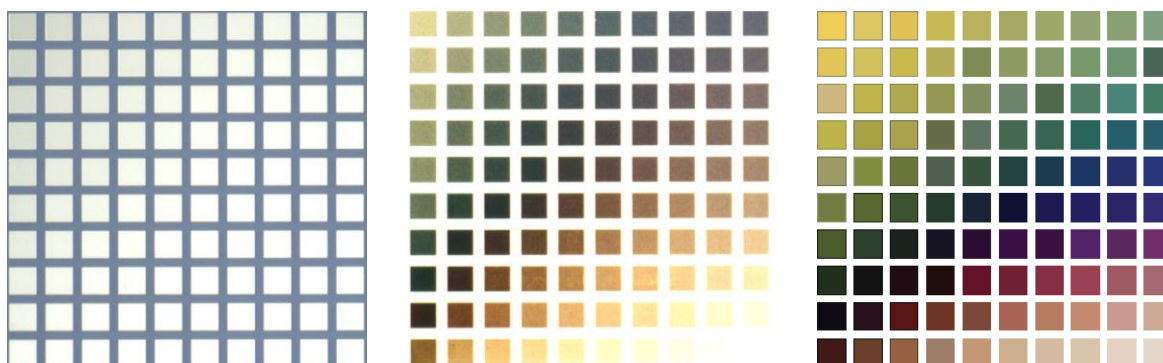
Vyvolání bylo provedeno s pomocí odstředivky s časovým intervalem 60s. Vývojka byla roztok izopropylalkoholu a vody.

Pro získání barevného efektu jsme strukturu na závěr pokovili vrstvou stříbra (15 nm) stříbra a zlata (5 nm).

3.1. VYHODNOCENÍ

Průběžně byly pořizovány snímky struktury s pomocí konfokálního laserového mikroskopu. Před pokovením nebyly znatelné žádné barevné odstíny v oblastech vytvořených struktur (obr. 2). Široká škála barev se objevila až po pokovení stříbrem a zlatem.

Při pozorování na konfokálním laserovém mikroskopu bylo zřejmé, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při dávce 520 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$. Obrázek pro tuto dávku byl porovnán s dosaženými výsledky z článku časopisu [1] (obr. 2).

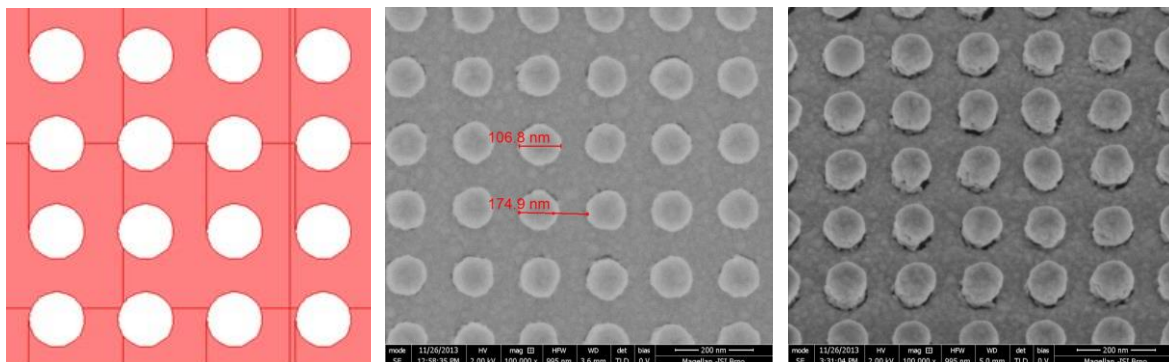


Obrázek 2: Struktura před pokovením (vlevo), porovnání vybraného motivu s dávkou 480 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (uprostřed) se vzorkem z článku (vpravo)[1].

Z porovnání je znatelné, že bylo dosaženo velice dobrých výsledků. V článku, ze kterého jsme vycházeli, byl použit negativní rezist HSQ. Jedná se o speciální rezist určený pro velmi vysoké rozlišení, který je méně citlivý než PMMA. Pro naše struktury byl použit standartní pozitivní rezist PMMA. Cena použitého rezistu je podstatně nižší a potřebná expoziční doba je kratší.

Struktury byly pozorovány a vyhodnocovány na elektronovém mikroskopu. Bylo zjištěno, že vytvořené struktury jsou v porovnání s požadovanými velmi dobré. Pozorovali jsme hlavně kvalitu zaoblení (obr. 3).

Elektronový mikroskop nám umožnil pozorovat i kvalitu pokovení a to při sklopení vzorku pod úhlem 30° . Díky tomu jsme mohli pozorovat, že byly pokoveny i svislé strany vzniklých struktur a došlo ke zkratu. Tento nežádoucí jev by mohl být odstraněn s použitím napařovačky místo napařovačky.



Obrázek 3: Navržené struktury (vlevo), struktury pozorovány pomocí SEM s průměrem 100 nm a vzdáleností 70 nm (uprostřed) pod úhlem 30° (vpravo).

4. ZÁVĚR

Plazmonické struktury tvořené pomocí rezistu PMMA, mají v porovnání se strukturami tvořenými s pomocí HSQ výhodu v nižší potřebné expoziční dávce, což zkrátí celkovou dobu expozice. Tato vlastnost spolu se zdařilými barevnými výsledky a nižší cenou dělá z rezistu PMMA dobrou volbu pro velkoplošnou expozici. Plazmonické struktury větších rozměrů bude možné v budoucnu využít např. při tvorbě specializovaných ochranných prvků.

REFERENCE

- [1] KUMAR, Karthik, Huigao DUAN, Ravi S. HEGDE, Samuel C. W. KOH, Jennifer N. WEI a Joel K. W. YANG. Printing colour at the optical diffraction limit. *Nature Nanotechnology* [online]. 2012-8-12, vol. 7, issue 9, s. 557-561 [cit. 2013-12-21]. DOI: 10.1038/NNANO.2012.128. Dostupné z WWW: <<http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nnano.2012.128>>.
- [2] MATEJKA, F. *Elektronová litografie: Teoretické základy a rezistové procesy* [online]. 3/2008 [citováno 2010-04-01]. Dostupné z WWW: <http://www.isibrno.cz/teams/EBL/ebl_fm.pps>.
- [3] MicroChem Corp. *PMMA Resist Data Sheet* [online]. 2001 [citováno 2010-03-31]. Dostupné z WWW: <http://www.microchem.com/products/pdf/PMMA_Data_Sheet.pdf>.