

Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách: fototermální zahřívání v plazmonických nanostrukturách

Martin Hudeček
Gymnázium Duhovka,
Praha 7
hudecmar1@duhovkagymnazium.cz

Martin Biroščák
Střední průmyslová škola elektrotechniky a informatiky,
Ostrava
martin.bir@spseiostrava.cz

Abstrakt:

Za určitých podmínek mají kovové nanočástice schopnost zvýšené absorpce světla, a tak se stávají zdrojem tepla – termoplazmonika. V tomto článku jsme se zabývali závislostí tvaru struktury na jeho schopnosti pohlcovat laserové záření a snažili jsme se replikovat výsledky článku Z. J. Coppens, W. Li, D. G. Walker, and J. G. Valentine, "Probing and Controlling Photothermal Heat Generation in Plasmonic Nanostructures," *Nano Letters*, vol. 13, pp. 1023-28, 2013. K simulaci jsme použili metodu FDTD (simulační nástroj Lumerical, program Device který řeší rovnici přenosu tepla). Z nasimulovaných dat jsme došli k tomu, že struktury tvaru diablolo mají lepší absorpční schopnosti než struktury typu dipole, což souhlasí se zmíněným článkem.

1 Úvod

Schopnost povrchových plazmonů uvěznit elektromagnetickou energii v subvlnových strukturách přitahuje pozornost vědců z důsledku velkého lokálního elektromagnetického pole. Jedním z nedostatků spojených s povrchovými plazmony je však to, že ztráta odporového tepla v kovových strukturách může často omezit funkčnost zařízení. V jiných oborech bylo věnováno mnoho úsilí minimalizaci tepelných ztrát, kdežto v termoplazmonice je snahou vytvořit malá místa s vysokou indukovanou teplotou, což má mnohé aplikace, například nanochemie (katalýza), fototermální zobrazování a lékařské terapie. Jako cíl jsme si určili seznámit se s touto problematikou a porovnat schopnosti indukovat teplotu dvou částí.

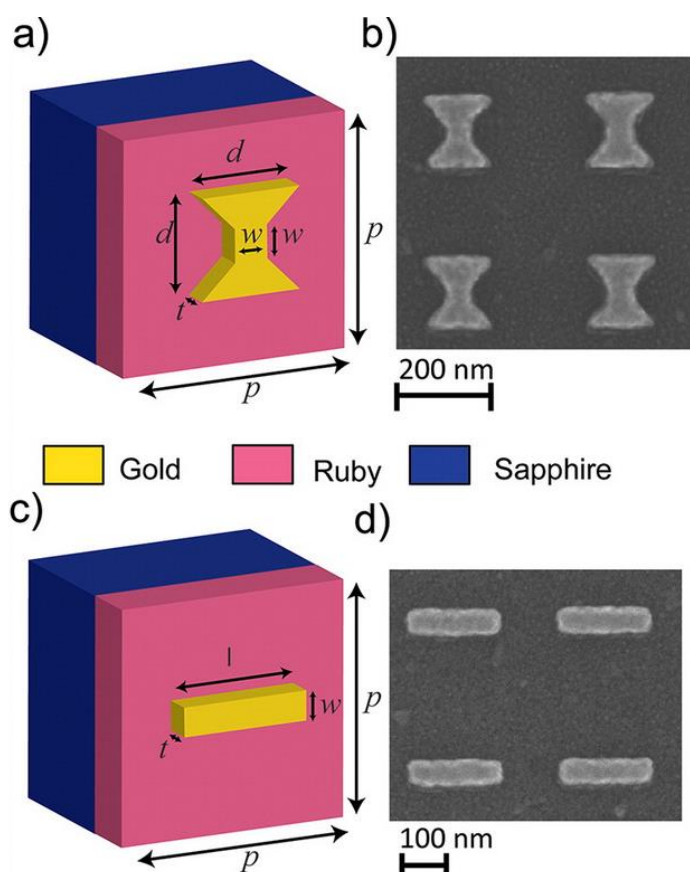
2 Metoda

Výpočet proběhl ve dvou krocích. Nejprve se spočítala optická část pomocí metody FDTD (Finite-difference time-domain), která řeší Maxwellovy rovnice. Tím jsme zjistili optickou absorpci, kterou jsme vypočítali vztahem $0.5 \varepsilon_0 \omega |E|^2 \text{imag}(\varepsilon)$, kde ε_0 je permitivita vakua, ω je frekvence záření, E je elektrická intenzita a ε je permitivita materiálu. Tato optická absorpce se použila v dalším kroku.

Pro výpočet tepelné části se využily rovnice šíření tepla – implementovaná pomocí metody konečných elementů. K simulaci byly použity programy od firmy Lumerical (www.lumerical.com). Laserový puls o výkonu 1mW a vlnové délce 1.064 μm jsme aproximovali rovinou vlnou.

2 Zkoumané struktury

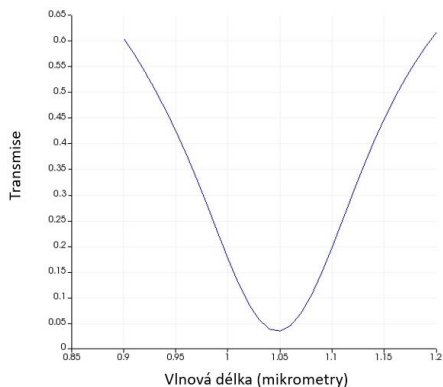
Na obrázku č. 3 jsou zobrazené zkoumané struktury. Struktura a) se nazývá diablo, struktura c) se nazývá dipole. Jsou složeny z částic zlata na rubínovém substrátu. Na obrázku a) a c) je vykreslena pouze jedna perioda, ve skutečnosti se jedná o periodické pole většího počtu struktur, což naznačují obrázky b) a d) získané z elektronového mikroskopu.



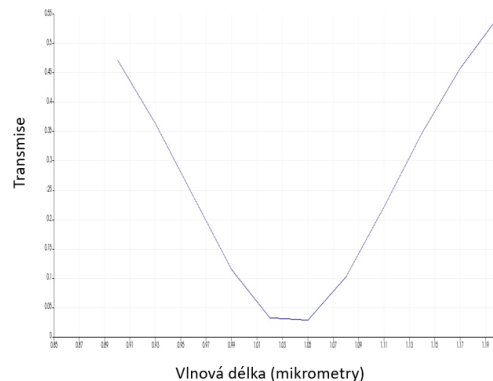
1. Tvary struktur, převzato z článku [1], parametry: $p = 340 \text{ nm}$, $d = 150 \text{ nm}$, $w = 50 \text{ nm}$, $t = 50 \text{ nm}$, $l = 215 \text{ nm}$

3 Výsledky

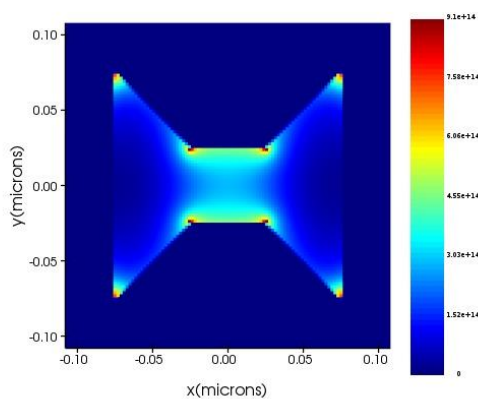
Nejdříve jsme počítali transmisní charakteristiky (viz obrázek č. 1,2) zkoumaných struktur. Reflexe je oproti transmisi o několik řádu menší, proto jsme ji nezjišťovali. Zjistili jsme, že transmise se blíží k nule v okolí vlnové délky 1.064 nm, což znamená, že zde je největší absorpce záření. Toto indikuje, že tyto struktury rezonují v okolí této vlnové délky a vybudily se lokalizované plazmony na těchto strukturách. Následně jsme pro danou vlnovou délku spočítali absorpci podle výše zmíněného vzorce, výsledky jsou zobrazeny na obrázcích č. 4, 5. Lze vysledovat, že struktura *diabolo* místy absorbuje více záření.



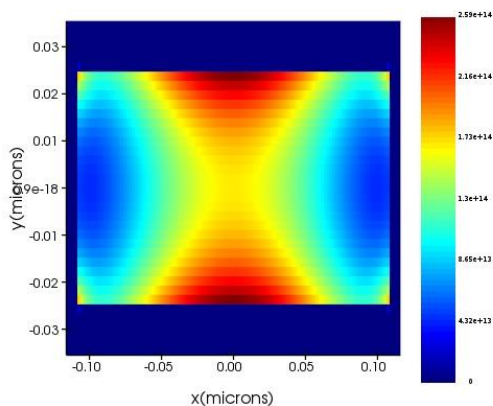
2. Spektrální závislost transmise pro strukturu diabolo.



3. Spektrální závislost transmise pro strukturu dipole.

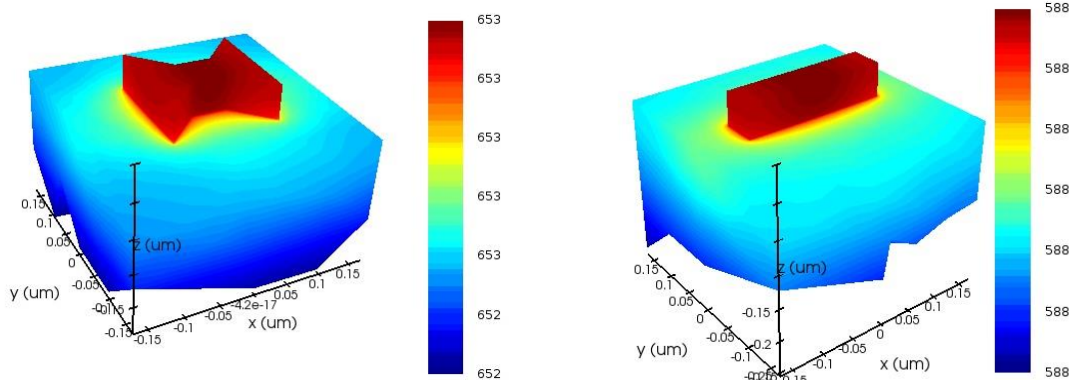


4. Rozložení absorpce uvnitř struktury diabolo



5. Rozložení absorpce uvnitř struktury dipole

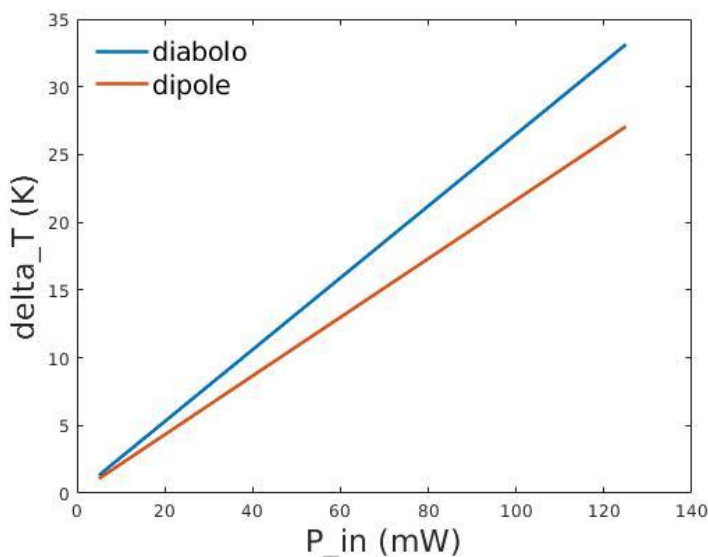
Na obrázcích č. 5. a 6. lze vypořadovat, že struktura diabolo generuje více tepla, než struktura dipole. Zároveň jde vidět, že v nejbližším okolí struktury není pokles teploty veliký. Okolní prostředí má teplotu 300 Kelvinů.



4. Prostorová distribuce teploty [K] ve struktuře diabolo

5. Prostorová distribuce teploty [K] ve struktuře dipole

V předchozích částech jsme používali výkon 1mW, nyní jsme zkoumali, co se stane, budeme-li zvyšovat výkon až na 120 mW. Toto lze vidět na obrázku níže. Na ose y je vykreslen rozdíl mezi teplotou pro 1mW a aktuální hodnotou výkonu. Opět lze vidět, že struktura diabolo se zahřívá rychleji než struktura diapole.



6. Rozdíl mezi teplotou pro 1mW a teplotou pro aktuální výkon

3 Shrnutí

Na základě provedených simulací jsme se seznámili s jevem lokalizované plazmonové rezonance, která se projevuje unikátními vlastnostmi zvýšené absorpce v oblasti rezonančních frekvencí. To ve svém důsledku vede k výraznému zahřátí struktury při interakci s laserovým zářením na rezonanční vlnové délce. Tento jev má řadu uplatnění například při protinádorové fototerminální terapii. Naše simulace odpovídají článku [1].

Poděkování

Děkujeme Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a Ing. Kateřině Jirákové za organizování akce Týden vědy na FJFI. Děkujeme Ing. Milanovi Burdovi, doc. Ing. Ivanu Richterovi Dr. a Ing. Pavlovi Kwiecienovi, Ph.D. za vedení naší práce.

Reference:

- [1] Coppens J, Li W, Walker D. G, Valentine J. G. *Probing and Controlling Photothermal Heat Generation in Plasmonic Nanostructures*, Nano Letters 2013 pp. 1023-28