

Číslo projektu: 19-220005
Poskytovatel: Ministerstvo vnitra České republiky
Období řešení projektu: 1. 1. 2019 až 31. 12. 2021

Název projektu:

Lens-free tomografie transparentních materiálů se super-vysokým rozlišením

Projekt je zaměřen na základní výzkum optických metod pro trojrozměrné zobrazování mikroskopických struktur v transparentních materiálech. Příkladem takových struktur jsou doménové struktury ve feroelektrických materiálech, deformační pole v okolí topologických defektů ve fotoelastických materiálech, fázová rozhraní v materiálech s fázovou změnou apod. Hlavním cílem projektu je vytvoření metod pro optické prostorové zobrazování mikroskopických struktur v transparentních materiálech pomocí on-chip mikroskopie a tomografie se supervysokým rozlišením.

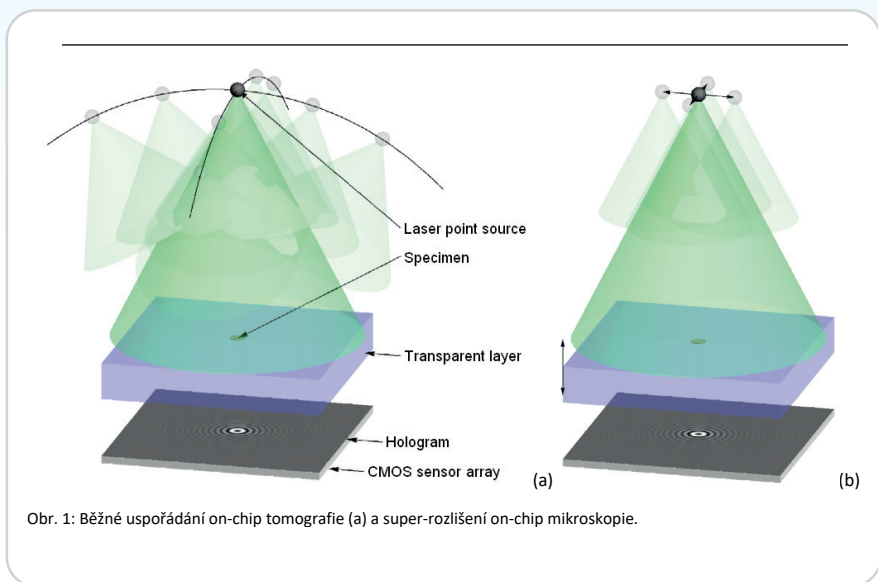
Lidské vidění a všechny běžně používané způsoby zobrazování jsou založeny na detekci změny intenzity světla. Ačkoli je tento princip použitelný ve většině situací, přináší omezení při pozorování širokého spektra vzorků, kde sledovaná struktura nemá žádný vliv na intenzitu přenášeného světla. V chemicky složitých strukturách, jako jsou biologické tkáně, může být tento problém vyřešen zpracováním vzorků za použití biochemických metod barvení. Bohužel existuje velká skupina transparentních anorganických materiálů s výraznými mikroskopickými strukturami, kde takové barvicí metody nelze použít. Tato různorodá skupina zahrnuje doménové struktury ve feroelektrických materiálech, deformační pole kolem topologických defektů ve fotoelastických materiálech nebo fázové hranice v materiálech se změnou fáze. Vnitřní struktura vzorků těchto materiálů je kódována ve změnách indexu lomu.

Potřeba zobrazování takových vzorků vedla k rozsáhlému úsilí, které bylo věnováno vymýšlení zobrazovacích technik založených na měření kontrastu v indexu lomu. Možnost zobrazení variací indexu lomu je umožněna pomocí metod založených na holografické interferometrii. Prostorově nestejný index lomu způsobuje deformaci vlnoplochy přenášené optické vlny, kterou lze měřit pomocí digitální holografické interferometrie (DHI).

Dalším problémem optických měření je jejich rozlišení, které je omezeno tzv. Abbeho difrakčním limitem $\lambda / (2 NA)$, kde λ je vlnová délka optické vlny a NA je numerická apertura. Maximální rozlišení dané difrakčním limitem je asi 250 nm pro zelené světlo. Za účelem překonání tohoto základního limitu byly vyvinuty metody superrozlišení založené na takzvaném on-chip imaging. Metoda on-chip imaging se ukázala jako přímá a levná alternativa ke konvenční mikroskopii, která umožňuje zobrazování v superrozlišení s použitím nesrovnatelně jednodušších optických uspořádání než v konvenční mikroskopii. Bohužel, mikroskopii s vysokým rozlišením lze použít pouze na měření, kde jsou obrazové informace kódovány v intenzitě světelné vlny. Dosud nebyla vyvinuta žádná metoda pro měření fázových deformací v superrozlišení.

Jádrum projektu bude vývoj metod pro čipovou mikroskopii a tomografii, které umožní měření prostorového rozložení indexu lomu v průhledných materiálech.

Konvenční uspořádání on-chip tomografie a superrozlišení on-chip mikroskopie jsou znázorněny na *obr. 1*. V obou těchto uspořádáních je vzorek umístěn na horní stranu průhledné vrstvy. Pole sensorů CMOS je umístěno těsně pod průhlednou vrstvou. Laserový bodový zdroj umístěný nad vzorkem osvětluje objekty nad senzorem CMOS. Vzorek vytváří difrakci dopadajícího laserového světla. Difrakční vlna je superponována s dopadající vlnou, která vede k vytvoření hologramu, který byl zachycen snímačem CMOS.

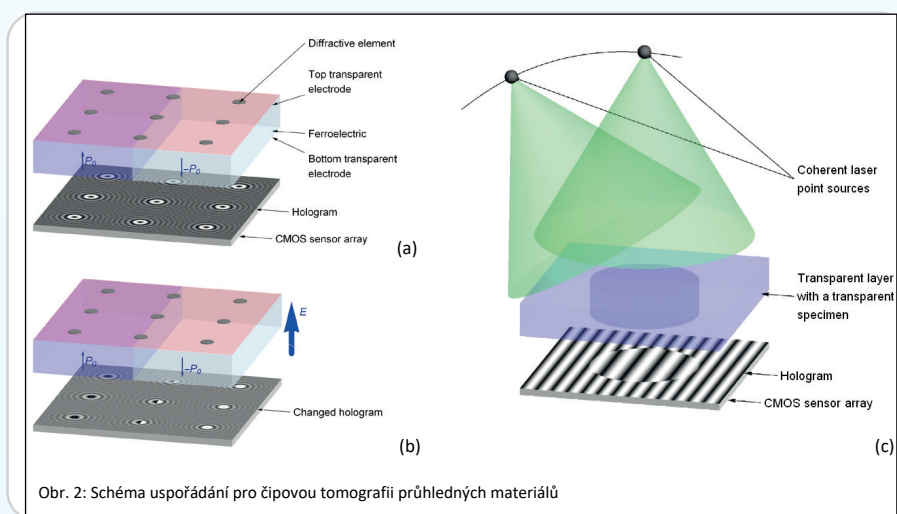


Hlavní cíle projektu jsou následující:

- (O1) Návrh optických systémů pro zobrazování průhledných materiálů na základě mikroskopie na čipu.
- (O2) Vývoj numerických algoritmů pro čipovou mikroskopii průhledných materiálů.
- (O3) Vývoj numerických algoritmů pro tomografickou rekonstrukci.
- (O4) Provádění experimentů s konstruovaným on-chip tomografem a provádění charakterizace indexu lomu indexu ve vybraných transparentních materiálech.

Za účelem dosažení hlavních cílů výše uvedeného projektu budou zvažena dvě různá experimentální uspořádání. První uspořádání využívá jediný laserový paprsek a systém difrakčních prvků. Druhé uspořádání využívá dva koherentní laserové paprsky.

Schéma nastavení pro on-chip tomografii s jediným laserovým paprskem a systémem difrakčních prvků je znázorněno na *Obr. 2 (a)* a *(b)*. Systém se skládá z ferroelektrického monokrystalu s průhlednou horní a dolní elektrodou. Systém difrakčních prvků je uložen na horní elektrodě. Sensorové pole CMOS zachycuje mikrointerferenční obrazec (hologram). V případě rovnoměrného indexu lomu, tj. v nulovém aplikovaném poli ve ferroelektrických doménách, má hologram tvar kruhových proužků, viz. *Obr. 2 (a)*. Když se na ferroelektrický monokrystal přiloží vnější elektrické pole E , proužky mikrointerferenčního obrazce se posunou a hologram zachycený snímačem CMOS



se mění v důsledku nehomogenního rozdělení indexu lomu ve vzorku a ferroelektrickými doménami ve vnějším elektrickém poli E , viz. *Obr. 2 (b)*. *Obrázek 2 (c)* ukazuje nastavení bezobjektívové tomografie se dvěma koherentními laserovými bodovými zdroji. V tomto případě má zachycený hologram formu lineárních proužků, jejichž šířka závisí na hodnotě indexu lomu v průhledné vrstvě nad sensorovým polem CMOS.