

HOLOGRAFIE: JAK OVLÁDAT SVĚTLO

APLIKACE A VÝZKUM NA KATEDŘE FYZIKÁLNÍ ELEKTRONIKY FJFI

Holografie jako metoda záznamu optické vlnoplochy je známá již více než 60 let. Od jejího objevu v roce 1947, kdy byla primárně nástrojem pro záznam a rekonstrukci signálu v elektronové mikroskopii se pohled na holografii postupně vyvíjel. Po objevu laseru v roce 1960 byla až do osmdesátých let minulého století využívána zejména jako unikátní metoda záznamu 3D optického signálu. Dnešní pohled interpretuje holografii spíše jako obecnou metodu pro tvarování optických polí.

Hlavním cílem tak již dnes není pouze záznam 3D obrazu pro účely pozorování lidským okem, ale zejména obecná, efektivní a velice flexibilní transformace jednoho optického signálu na jiný. Na pozadí rychlého pronikání optických technologií do různých oblastí lidské činnosti dává tato interpretace tušit obrovský potenciál holografických prvků. Holografické elementy často umožňují nahradit komplikované klasické optické systémy jediným pasivním robustním prvkem, jehož složitost více méně ne-

závisí na jeho konkrétní funkci. Holografický přístup k transformaci optických vln přináší pochopitelně i některé specifické problémy, které se u konvenčních systémů nevyskytují. Nejzávažnější z nich je silné disperzní chování difrakčních prvků, nebo-li závislost jejich funkce na vlnové délce světla. Tento fakt donedávna představoval největší překážku širších aplikací holografických elementů pro tvarování svazků jiných než laserových zdrojů. Masivní rozšíření polovodičových světelných zdrojů s úzkou spektrální charakteristikou v posledních letech ale vedlo k potlačení negativních projevů disperzních vlastností.

Hologram jako ochranný prvek

Tradiční obrazové hologramy určené pro vytváření obrazů pro pozorování lidským okem tvoří dnes již pouze malý zlomek celkové produkce hologramů. Jednoznačně největší množinou hologramů jsou prvky určené pro ochranu dokumentů a autenticity různých produktů. Vyrábějí se často až v milionových sériích a lze je dnes nalézt nejenom na ceninách a dokumentech, ale také na nepřeborném množství značkových produktů různých kategorií. Ochranná funkce je v tomto případě založena na vizuálních projevech hologramu

(jako jsou barevné, kinetické a 3D efekty), které jsou z fyzikálního hlediska důsledkem difrakce světla na struktuře s detaily na úrovni desítek až stovek nanometrů. Hologramy tak nabízejí možnost vizuální laické kontroly bez použití jakýchkoli pomůcek, pozorované efekty jsou však založené na běžnými technikami nekopírovatelné velice sofistikované mikrostruktury. Tato mikrostruktura je většinou reliéfní a je možné ji realizovat nízkonákladovými technikami mechanického lisování.

Hologram jako nástroj pro úsporu energie

Další významnou skupinou aplikací jsou difrakční prvky pro ovládnání a tvarování laserových svazků pro různé účely, zejména pak pro optické komunikace, optické zpracování informací a také pro ovládnání paprsků průmyslových laserů pro obrábění materiálů. Ve všech zmiňovaných případech je hologram flexibilní alternativou konvenčního systému, přičemž holografické řešení bývá obvykle robustnější, kompaktnější a při větších výrobních sériích také pronikavě levnější. Vzhledem k použití laserů jsou problémy jako disperze a různé typy zobrazovacích vad v těchto případech většinou minimální. Holografické elementy mohou

být použité i při tvarování svazků běžných polychromatických světelných zdrojů. Hologram může sloužit například jako matnice usměrňující světlo do daného prostoru, přičemž jeho směrová charakteristika může být velice obecná. Jsou známy například holografické matnice pro použití ve fotografických přístrojích, takové prvky lze ale využít v mnohem širším spektru aplikací vyžadujících manipulaci se světlem například za účelem optimálního využití energie. Ať už se jedná o prvky fokusující sluneční světlo například ve slunečných člancích, směrové prvky pro tvarování asymetrických vyzařovacích charakteristik zdrojů například v automobilovém průmyslu, anebo prosté osvětlovací prvky pro běžné domácí aplikace, nabízejí difrakční elementy flexibilní a ekonomicky výhodné řešení.

Novinka: holografické disky

Speciální kategorií aplikace hologramů jsou holografické paměti. V oblasti dlouhodobých pamětí dominují optické technologie již od dob uvedení CD disků. Postupem času byla jejich kapacita zvyšována na principu zmenšování plochy nesoucí elementární informaci (bit) až na úroveň fyzikálních limitů (DVD a Blue-ray disky). Protože další zvyšování kapacity touto cestou již téměř není možné, představují zajímavou alternativu holografické disky. U těchto zařízení je informace zaznamenána s využitím jisté formy multiplexování informace na jediné ploše formou hologramu. V jediné expozici (která u CD představuje 1 bit) je zaznamenáno až o několik řádů větší množství informací formou hologramu. Hustota informace je potom až 1000krát vyšší než u DVD disků. Zařízení tohoto typu přichází v současné době na trh.

A jak takový hologram realizovat? Zatímco klasické obrazové hologramy byly realizovány podobně jako



Ukázka lisovaných hologramů pro ochranu dokumentů. Barevné a kinetické efekty jsou generovány difrací světla na mikrostruktury hologramu s detaily na úrovni stovek nanometrů.

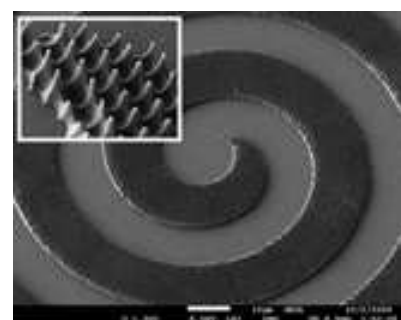
fotografie expozicí signálů za přítomnosti reálného objektu (u holografie ovšem v komplikovanějším schématu a s pomocí laserového zdroje), výše popsané aplikace využívají větší hologramů syntetických. Mikrostruktura těchto prvků je uměle napočtena pomocí počítače a posléze přenesena do reálného materiálu. Zápis musí být proveden s vysokým rozlišením na úrovni až stovek tisíc dpi, což lze v současné době realizovat pomocí sofistikovaných technologií laserové nebo elektronové litografie. Pro řadu aplikací je ale žádoucí použití dynamických hologramů, které je možné v reálném čase měnit. V takovém případě jsou výše zmíněné technologie nevyhovující. Dnes již lze dynamické hologramy realizovat zobrazením na počítačem řízeném mikrodispleji s vysokým rozlišením. Ty sice zatím nedosahují parametrů srovnatelných se statickými technikami, ale pro mnohé aplikace jsou již akceptovatelné.

Studium holografie na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské

Na FJFI ČVUT má holografie již více než třicetiletou tradici. Kromě realizace klasických obrazových hologramů se věnujeme také studiu záznamových materiálů pro holografii

a zejména moderním směrům jako jsou syntetické počítačem generované hologramy a jejich aplikace v různých oblastech. Zkoumáme možnosti využití hologramů v optických komunikacích, průmyslu, biologii a medicíně a dalších odvětvích. Holografické techniky je možné rovněž využít k realizaci speciálních mikro a nano struktur, které dnes nacházejí uplatnění v širokém spektru aplikací. Studenti naší fakulty se mohou věnovat holografické problematice v rámci zaměření magisterského studia Optická fyzika navazujícího na bakalářské studium oboru Fyzikální elektronika, resp. v doktorském studiu. Již v rámci magisterského studia se studenti aktivně podílejí na výzkumu v uvedených oblastech. Výborné možnosti praktického uplatnění absolventů jsou dnes dány širokým spektrem aplikací optických technologií.

Ing. Marek Škereň, Ph.D.
Prof. Ing. Pavel Fiala, CSc.
KFE FJFI
Ilustrace: archiv autorů



Snímek mikrostruktury realizované laserovou litografií pořízený skenovacím elektronovým mikroskopem. Speciální mikrostruktura byla navržena jako podložka pro manipulaci s mikročásticemi pomocí holografické optické pinzety. Kanálky o šířce cca 5 mikrometrů jsou obklopeny speciální reliéfní strukturou tvořenou mikrohroty, ovlivňující vlastnosti povrchu podložky.