

Témata studentských bakalářských prací – 2005/06 – skupina Optické fyziky

Syntetické difrakční struktury pro ochranu dokumentů (M. Škereň)

V důsledku zdokonalování výrobních technologií dochází v poslední době k rychlému rozvoji aplikací difrakčních struktur v mnohých oblastech průmyslu. Jedním z tradičních odvětví je oblast ochrany dokumentů, kde se holografické prvky široce využívají již řadu let. S rozvojem realizačních technologií souvisí však i rozvoj kopírovacích technik, který vede k znižování úrovně bezpečnosti těchto prvků. Jedním z možných řešení daného problému je zakomponování dodatečných difrakčních struktur – kryptogramů do ochranných holografických prvků. Práce by měla být zaměřena na vývoj nových typů difrakčních kryptogramů, jejich návrh, realizaci a testování.

Rigorózní modelování difrakčních mřížek a difrakčních struktur (I. Richter)

Optické difrakční struktury, respektive zejména difrakční mřížky jakožto periodicky modulované difrakční struktury, nalézají stále celou řadu uplatnění v praxi. Jejich využití zasahuje dnes od aplikací v ochraně a bezpečnosti dokumentů, holografii, měřicí technice a interferometrii, laserových technologiích, spektroskopii, přes uplatnění v obecné optice, integrované optice, senzorech, apod., až k takovým moderním disciplínám, jako je optické zpracování informace či optické propojování. Využívá se přitom celá řada různých forem a druhů mřížek. Ukazuje se, že pro správnou analýzu a předpověď chování takovýchto struktur v konkrétních aplikacích je třeba využívat elektromagnetických přístupů a počítačového modelování. Cílem teoreticky zaměřené práce je studium vybraných přístupů a metod a jejich aplikace na počítačové modelování chování vybraných difrakčních struktur a mřížek.

Fyzika a modelování fotonických krystalů (I. Richter)

Fotonické krystaly (též struktury se zakázaným fotonickým pásem) představují periodicky modulovaná uměle vytvořená prostředí, která mají ve srovnání se "standardními" strukturami mnoho velmi zajímavých a unikátních vlastností. Např. vhodně navržený fotonický krystal principiálně neumožní šíření světla v určitém spektrálním rozsahu (tzv. zakázaný fotonický pás), čehož se dá s výhodou využít v mnoha aplikacích. Díky těmto unikátním vlastnostem struktury nacházejí a budou nadále nacházet celou řadu uplatnění v moderních oblastech optiky, komunikací, laserové fyziky a techniky, materiálového výzkumu a dalších. Dobrá detailní znalost chování takovýchto struktur je nezbytnou podmínkou jejich dalšího uplatnění. Práce by měla být zaměřena na studium a následné modelování takovýchto fotonických krystalů, zejména některých jejich zajímavých vlastností, později i např. komplexnějších struktur na nich založených.

Návrh a realizace syntetických difrakčních struktur (M. Škereň)

Difrakční optika je dnes již zavedenou optickou disciplínou zabývající se analýzou, návrhem a realizací optických difrakčních struktur. Rozvoj nových možností jejich přípravy v poslední době upřednostnil zejména tzv. struktury syntetické (na rozdíl od struktur "klasických", vytvářených holografickým – interferenčním přístupem), také jejich aplikační potenciál je mnohem širší. Syntetické struktury mohou být připraveny např. na různých specializovaných výstupních zařízeních (optické, elektronové zapisovače, prostorové světelné modulátory, apod.). Způsobu realizace je pak třeba podřídit i jejich počítačový návrh. Náplní práce by mělo být seznámení se s problematikou návrhových metod a strategií a s technologickými možnostmi realizace rozličných difrakčních struktur, následně pak vybrané syntetické struktury navrhnout, experimentálně realizovat a testovat.

Difrakční optika pro rentgenové záření (P. Fiala, L. Pína)

Difrakční optika se tradičně zabývala analýzou, návrhem a realizací optických difrakčních struktur v blízké UV, viditelné a blízké IČ oblasti spektra. S velkým rozvojem tzv. rentgenové optiky, tedy odvětví optiky využívající optických signálů s velmi krátkou vlnovou délkou (měkká a tvrdá RTG oblast spektra), v poslední době však dochází k postupné aplikaci difrakčních struktur i v této "netradiční" spektrální oblasti. Tyto struktury, ve srovnání s tradičními rentgenovskými prvky fungujícími na reflexním a refrakčním principu, přinášejí do rentgenové optiky zcela zásadní nové možnosti. Náplní práce by mělo být v první fázi zejména zmapování této nové problematiky, seznámení se s možnostmi difrakčních struktur v RTG oblasti, jejich

typů a vlastností (např. zonální desky, fokuzační prvky, obecně tvarující elementy, apod.), provedení srovnání možností těchto struktur se standardními prvky reflexními a refrakčními, seznámení se s návrhovými přístupy, způsoby realizace a využívanými i potenciálními aplikacemi těchto prvků.

Holografické head-up displeje (P. Fiala)

Holografický záznamový materiál na bázi nanočástic AgX (M. Květoň, P. Fiala)

Metoda konečných diferencí v časové doméně a její aplikace v modelování fotonických struktur (M. Šiňor, konzultant I. Richter)

Metoda konečných diferencí v časové doméně (tzv., FDTD, finite difference time domain method) jako přímá numerická metoda našla postupně celou řadu aplikací v mnoha fyzikálních, inženýrských i technických aplikacích. Základní metoda byla v poslední době intenzivně vylepšována a zpřesňována, vznikly nejrůznější modifikace podle konkrétních potřeb. Mezi velmi významné oblasti použití patří modelování elektrodynamických problémů v optických a fotonických strukturách. Kromě vlastní numerické metody je pozornost třeba věnovat také patřičným okrajovým podmínkám. Dobrá detailní znalost chování takovýchto fotonických struktur na základě modelování je nezbytnou podmínkou jejich dalšího praktického uplatnění, od návrhu až po praktickou realizaci. Teoretická práce by měla být zaměřena na studium metody FDTD, zmapování dostupných programů, postupné vytvoření programů vlastních a její následnou aplikaci na modelování fotonických mikrostruktur, zejména fotonických krystalů.

Softwarové a numerické nástroje pro modelování fotonických struktur (M. Šiňor, konzultant I. Richter)

Fotonické struktury a krystaly představují dnes velmi fyzikálně zajímavé a aplikačně vděčné objekty, které mají mnoho unikátních vlastností. Např. vhodně navržený fotonický krystal principiálně neumožní šíření světla v určitém spektrálním rozsahu (tzv. zakázaný fotonický pás), čehož se dá s výhodou využít v mnoha aplikacích. Díky těmto unikátním vlastnostem struktury nacházejí a budou nadále nacházet celou řadu uplatnění v moderních oblastech optiky, komunikací, laserové fyziky a techniky, materiálového výzkumu a dalších. Dobrá detailní znalost chování – na základě modelování a simulací - takovýchto struktur je nezbytnou podmínkou jejich dalšího uplatnění, od návrhu až po praktickou realizaci. Teoretická práce by měla být zaměřena na zmapování dostupných výpočetních metod a programů pro modelování předloženého problému, následné zaměření se na vybranou metodu či metody a jejich implementaci a aplikaci na konkrétní problémy analýzy a modelování.

Metamateriály (V. Kuzmiak, ÚRE AV ČR, konzultant na KFE - I. Richter)

Photonic crystals represent a new class of materials which interact with photons in a manner analogous that in which electrons interact with periodic potentials in a crystal lattice [1]. The photonic band gap (PBG) structures that have been investigated and experimentally realized over the past decade demonstrate that the idea of tailoring the properties of light in such structures was a fruitful one, and it is expected to belong to key nanotechnologies which will play crucial roles in storing, and transporting information in light speed computers and advanced telecommunications systems. The true potential in using these materials, however, originates from the fact that in photonic crystals functionality is as much as a property of material parameters – concept referred to as *metamaterials* [2].

By employing this concept one can design structures that possess new and unusual properties not attainable in naturally occurring materials. One example of such a substance, termed a left-handed material (LHM), was predicted by Veselago [3]. In a theoretical analysis of the physical properties of such hypothetical medium Veselago he showed that in such a substance \mathbf{E} , \mathbf{H} and \mathbf{k} (where \mathbf{E} and \mathbf{H} stand for vector of the electric and magnetic field, respectively while \mathbf{k} denotes a wave vector) form a left-handed set of vectors, which gives rise to rather unusual phenomena such as reversed Doppler effect, reversed Cerenkov radiation, and inverse Snell's law, for example. In particular it has been suggested that negative refraction leads to a superlensing effect that can potentially overcome diffraction limit inherent in conventional lenses [4].

Výše uvedeným úvodem do problematiky fotonických krystalů, resp. tzv. metamateriálů jsme chtěli upoutat pozornost případných zájemců o tento fascinující a dynamicky se rozvíjející obor, který patří mezi nejnadanější oblasti nově se formujících nanotechnologií a jehož aplikační potenciál již přináší hmatatelné výsledky. Zároveň bychom tímto chtěli vyzvat zájemce o tento obor, kteří by tuto problematiku zvažovali jako vhodné téma pro jejich rešeršní práci, aby kontaktovali

RNDr. V. Kuzmiaka - ÚŘE AV ČR, kuzmiak@ure.cas.cz, <http://www.ure.cas.cz/~kuzmiak>
resp. Dr. Ivana Richtera - FJFI ČVUT, richter@troja.fjfi.cvut.cz

[1] see article by Eli Yablonovitch - pdf file available on <http://www.ure.cas.cz/~kuzmiak>

[2] <http://www.pbglink.com/groups.html>, <http://ab-initio.mit.edu/photons/tutorial/>

[3] V. G. Veselago, Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968).

[4] J. B. Pendry, Phys. Rev. Lett. 85, 39566 (2000).

Bose-Einsteinovy kondenzáty (V. Kuzmiak, ÚŘE AV ČR, konzultant na KFE - I. Richter)

Although first proposed by Einstein in 1924 [1], Bose-Einstein condensation (BEC) in a gas was not achieved until 1995, when using a combination of laser cooling and trapping, and magnetic trapping and evaporation, it was first observed in rubidium and then in lithium and sodium, cooled down to extremely low temperatures – see e.g. Refs.[2]-[4]. In complete parallel to nonlinear optics, in atom optics interatomic interactions can introduce nonlinear behavior into a system of trapped ultracold atoms, similar to dynamics of light propagating in a refractive nonlinear medium. Bose-Einstein condensates are now providing the means for studying coherent nonlinear dynamics with dilute atomic systems.

Touto stručnou charakteristikou oboru zabývajícím se nelineární atomovou optikou bychom chtěli upozornit případné zájemce z řad studentů na možnost začlenit se do odborné veřejnosti, která se zabývá fyzikálními jevy, které mohou vést jak k zásadním pokrokům v kvantové statistické mechanice a kvantové informatice, tak umožňují sestavit kvantový simulátor, pomocí něhož lze sestavit prototyp kvantového počítače, jenž pro netriviální problém překonává výkon klasického výpočetního zařízení. Zároveň bychom tímto chtěli vyzvat zájemce o tento obor, kteří by tuto problematiku zvažovali jako vhodné téma pro jejich rešeršní práci, aby kontaktovali

RNDr. V. Kuzmiaka - ÚŘE AV ČR, kuzmiak@ure.cas.cz, <http://www.ure.cas.cz/~kuzmiak>
resp. Dr. Ivana Richtera - FJFI ČVUT, richter@troja.fjfi.cvut.cz

[1] A. Einstein, *Sitzungsberichte, Preussische Akademie der Wissenschaften*, 1 (1925) 3.

[2] <http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/index.html>

[3] B. P. Anderson and P. Meystre, *Optics & Photonics News* 21, 21(2003).

[4] J. I. Cirac and P. Zoller, *Science* 301, 176(2003).