

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Vývoj pyramidového senzoru vlnoplochy pro aplikaci v laserové technice
Jméno autora:	Bc. Ondřej Foršt
Typ práce:	diplomová práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra laserové fyziky a fotoniky
Oponent práce:	Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra laserové fyziky a fotoniky, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Posuzovaná práce se zabývá vývojem pyramidového senzoru vlnoplochy pro aplikace v laserové technice. Práce má část teoretickou, kde jsou uvedeny principy funkce a konstrukce pyramidového laseru. K tomu jsou zde popsány dva teoretické modely. První model je pro dynamicky modulovaný senzor, tento model je založený na popisu pomocí fourierovské optiky. Druhý teoretický model je pro staticky modulovaný senzor. Model je na bázi popisu pomocí geometrické optiky (tzv. ray tracing – sledování paprsku). Následně je zde popsán experiment na ověření funkce dynamicky a staticky modulovaného senzoru. Funkce senzoru je experimentálně ověřena s komerčně dostupným Shack-Hartmannovým senzorem.</p>	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Předložená závěrečná práce splňuje zadání. Jediné, co se dá vytknout je, že v porovnání s komerčně dostupným Shack-Hartmannovým senzorem je funkčnost sestaveného pyramidového senzoru pro dynamicky modulovaný signál výrazně horší než v případě staticky modulovaného signálu. Autor práce tuto chybovost přičítá systematické chybě při měření. Mohla by zde být rozsáhlejší diskuze nad výsledkem.</p>	

Zvolený postup řešení	vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student zvolil přiměřený postup řešení, který se nachází v literatuře.	

Odborná úroveň	průměrná
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Dosažené výsledky jsou na dobré vědecké úrovni. Mám však několik otázek/poznámek. V práci je uveden model na základě fourierovské optiky. Ve fourierovské optice se zvlášť vytváří popis pro koherentní a nekoherentní záření. Pro nekoherentní záření se zavádí funkce OTF a využívá se popis pomocí intenzity záření. Pro koherentní přístup se používá komplexní amplituda a konečný výsledek se může převést na intenzitu. Vzhledem k tomu, mi není jasný popis u vzorce (2.9), kde se míchají tyto popisy. Dále je zde uveden model na základě geometrické optiky (tzv. ray tracing). Je zde provedena celá řada aproximací – tloušťky optických komponent se zanedbávají a uvažuje se tedy paraxiální aproximace, kde se zákon lomu linearizuje a převádí se do podoby bez funkce sinus. Zdá se mi, že úhel, pod kterým paprsek vstupuje do pyramidového senzoru, je už velký vzhledem k této aproximaci a mohlo by to způsobit řadu nepřesností.</p>	

Formální a jazyková úroveň	průměrná
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Vlastní práce je napsána srozumitelnou formou, v českém jazyce, má celkem 116 stran, je doplněna řadou obrázků a grafů. Členění práce odpovídá zadání. <i>Po jazykové stránce je práce psaná téměř bez. Občas v textu vypadlo nějaké slovo, v několika případech se vyskytuje špatné skloňování. Co se týče dalších formalit, ke zvážení je označení proměnných v textu vůči příslušnému obrázku např. obr. 1.1. Dále by bylo dobré odlišit označení os od proměnných např. „y“ na obr. 1.4. Při použití zkratky pro obrázek (tabulku) v textu bych napsal malé písmeno na začátku, např. obr. 3.4.</i>	

Výběr zdrojů, korektnost citací	výborné
<i>Vyjáďte se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
V práci je použito 38 zdrojů relevantní literatury. Citace je řádně provedena dle normy ČSN ISO 690:2022 a nedošlo k porušení citační etiky. K diskuzi pouze může být, zda se citovaná literatura má uvádět na konci věty až za tečkou.	

Další komentáře a hodnocení
<i>Vyjáďte se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i>
Byl vyvinut pyramidový senzor vlnoplochy. K tomu byly vyvinuty dva numerické modely, které pyramidový senzor simulovaly. Na základě výsledků simulací a ověření správné funkce rekonstrukčního algoritmu byl navržen a sestaven pyramidový senzor vlnoplochy se statickou a dynamickou modulací. Experimentálním měřením byla ověřena jeho funkce. Při statické modulaci signálu je odchylka od komerčního senzoru 4 %, v případě dynamicky modulovaného signálu je odchylka od komerčního senzoru 16 % nebo 35 % (dle velikosti modulace).

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Ondřej Foršt splnil všechny body zadání diplomové práce. Student provedl teoretickou část návrhu pyramidového senzoru, kde mám jisté připomínky, následně experimentálně ověřil jeho funkci. Finálně o své práci vypracoval text. K práci mám následující otázky:

- 1) Hrot používané skleněné pyramidy má tvar sedlové střechy a velikost 30 μm . V dostupné literatuře např.: WANG, Aina. Design and fabrication of a pyramid wavefront sensor. Online. *Optical Engineering*. 2010, roč. 49, č. 7. ISSN 0091-3286.; se uvádí, že pro správnou funkčnost senzoru by velikost sedlové střechy měla být menší méně než 10 μm . Nemohlo to nějak negativně ovlivnit průběh vlastního experimentu?
- 2) Našel jsem několik článků, kde se použila metoda sledování paprsku v rámci specializovaného softwaru např. Zemax (současný název – Ansys Zemax OpticStudio). Otázka k modelu dle geometrické optiky: Je

- komplikované přidat do jednoduché metody sledování paprsku zákon lomu v přesnější podobě? Je komplikované vytvořit „jednoduchý“ software, kde se používají fyzické velikosti optických prvků?
- 3) V práci je použit koherentní i nekoherentní zdroj záření. Záleží funkčnost měření pomocí pyramidového senzoru vlnoplochy na koherenci záření?
 - 4) Máte nějaké další vysvětlení, proč měření v případě dynamicky modulovaného signálu bylo zatíženou tak velkou chybou?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 27.5.2024

Podpis: *David Kuvírek*