

Hrazení úzkopásmových filtrů

*Radek Melich, Zbyněk Melich, Ivan Šolc, David Tomka, Ústav fyziky plazmatu AV
ČR, v.v.i., oddělení TOPTEC, Skálova 89, 511 01 Turnov
Klimeš J. st., Klimeš J. ml., Hvězdárna v Úpici, U lípek 160, 542 32 Úpice*

Koncepce úzkopásmového monochromatického filtru užitá při řešení projektu S 1082001, kdy bylo použito filtru sestaveného ze tří částí Šolcova typu, se ukázala jako velmi výhodné řešení. Ve funkci předsádky se podařilo zhotovit dostatečně úzkopásmový dielektrický filtr a bylo tak možno použít jednotlivých částí filtru k pozorování chromosféry v pološířkách $\delta\lambda=0.08$ nm, nebo $\delta\lambda=0.16$ nm, a nebo $\delta\lambda=0.28$ nm.

Použitý hradící dielektrický filtr však díky svým vlastnostem propouští část záření mimo pozorovanou oblast a snižuje tak kontrast obrazu. Byla proto navržena jednoduchá dvojlomná předsádka ve funkci filtru, sestavená z tří krystalových destiček, kterou je možno dosáhnout kvalitnější zobrazení chromosféry Slunce v čáře CaIIK.

Barrier filters for narrowband filters

Concept of a narrow-band monochromatic filter used in the project S 1082001, where three sub-filters of Šolc type were used, has been proved as a very successful solution. As a barrier filter we managed to produce a sufficiently narrow dielectric filter so that it was possible to use separate sub-filters with FWHM of $\delta\lambda=0.08$ nm or $\delta\lambda=0.16$ nm or $\delta\lambda=0.28$ nm for the solar chromosphere observation.

However, the dielectric barrier filter (because of its nature) is transmitting part of spectra out of the region of interest and the observation contrast is therefore lowered. From this reason we designed a simple barrier birefringent filter compound of three crystal plates that enables imaging of Sun in CaIIK line with higher contrast.

Úvod

Stavba úzkopásmových řetězových filtrů používaných k pozorování chromosféry Slunce vyžaduje splnit celou řadu fyzikálních a technických podmínek [1]. Základní podmínkou je dosažení kvalitního zobrazení pozorované struktury. To předpokládá dosáhnout dostatečného úhlového rozlišení $\Delta\varphi$ pozorované struktury obrazu Slunce, což zajistí dostatečně rozměrný objektiv s průměrem vstupní pupily D a odpovídající navazující optická soustava, kde platí známý vztah [2]:

$$\Delta\varphi = 120''/D \quad (1)$$

Zároveň je nutné zajistit dostatečné rozlišení spektrální, tedy zajistit pozorování velmi úzkou propustí spektrálního filtru, při hrazení všech nežádoucích propustí v celé spektrální oblasti citlivosti použitého detektoru. Pološířka úzkopásmového filtru se přitom zpravidla volí užší, nebo podstatně užší, než je šířka pozorované spektrální čáry [3].

Charakteristiky filtru

Pro případ námi realizovaných úzkopásmových polarizačně-interferenčních filtrů Šolcova typu jsou tyto soustavy často řešeny z několika částí, lišících se tloušťkou použitých destiček. Tím lze, na úkor složitosti celé stavby filtru dosáhnout toho, že vhodnou volbou propustí dílčích částí filtrů se ve výsledku dosáhne propustí právě v jediné spektrální čáře, kterou chceme sledovat [4].

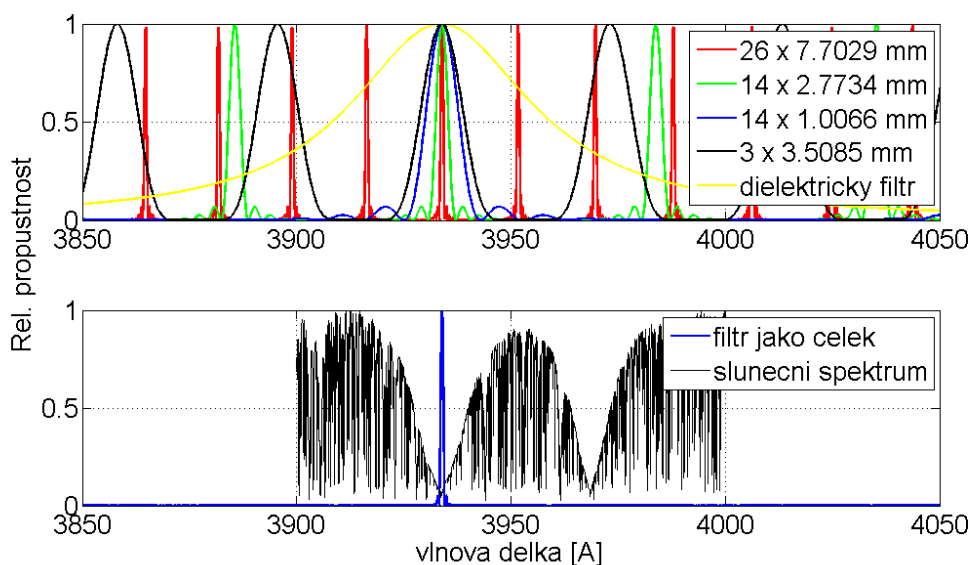
Jak známo, pro polohu maxim řetězového filtru 1. modifikace, tedy složeného z tzv. $\lambda/2$ destiček platí vztah:

$$d \cdot D = k \cdot \lambda \quad (2)$$

kde d je tloušťka destičky, D je dvojlom použitého materiálu, k je řád příslušného maxima, ($k=0.5, 1.5, 2.5, 3.5, \dots$ atd.) a λ je vlnová délka propuštěného maxima. Ze vztahu (2) můžeme vyjádřit všechna propouštěná maxima filtru. Nutno respektovat, že dvojlom použitého materiálu destičky je složitou funkcí vlnové délky λ a též funkcí teploty T . K návrhům filtrů se využívá metodiky uvedené v práci [4], na který byla aplikována metodika Müllerova, resp. Jonsonova maticového počtu [5].

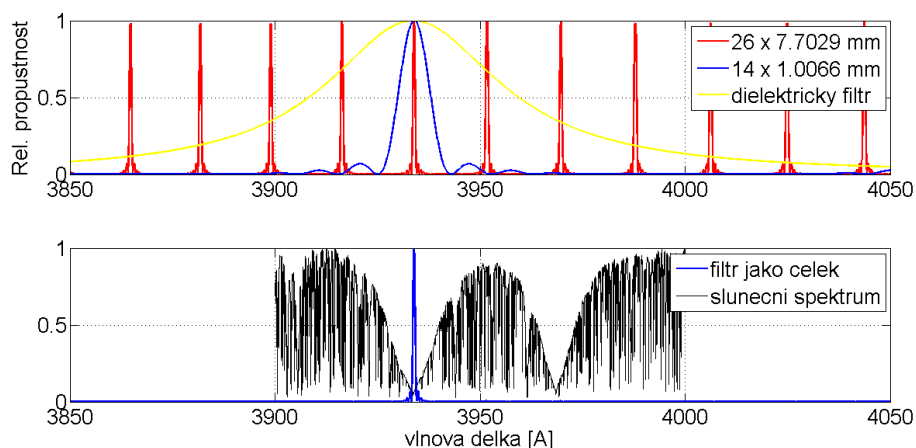
Sestavení filtru pouze z dvojlomných členů autor filtrů Dr. I.Šolc používal v době, kdy se pozorování provádělo pouhým okem, nebo se používaly filmy zcitlivované do vhodné spektrální oblasti, zpravidla film citlivý pro červenou oblast pro snímání v čáře $H\alpha$. Takové filtry pak musely být pečlivě hrazeny hlavně v IČ oblasti spektra. S využitím citlivých kamer na bázi CCD a CMOS detektorů je nutné filtry dokonale hradit v celé spektrální oblasti citlivosti těchto použitých prvků. K tomu se s výhodou používá filtrů zhotovených náparem soustavy tenkých vrstev, na principu FP filtru [6].

Také pro námi řešený filtr „K“ byla zvolena tato koncepce, tedy filtr navržen i pro hrazení klasické. Hlavní filtr je sestaven z 26 ks SiO_2 destiček pracujících v řádu $k=187.5$, dále bylo použito dvou předsádek taktéž z destiček krystalického SiO_2 . První předsádka byla volena s řádem $k_1=67.5$, druhá s řádem $k_2=24.5$. Po prvních zkouškách funkce byl filtr doplněn hradícím dielektrickým filtrem průměru 40 mm, zhotovený tvrdou technologií vrstev $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ s výslednou pološífkou $\delta\lambda=4$ nm, který byl naladěn do K čáry při jeho náklonu pod úhlem 10° k dopadajícímu svazku [3].



Obr.1. Propustnost dílčích soustav filtru K. Pološífka filtru jako celku je $\delta\lambda=0.08$ nm.

Ze získaných výsledků pozorování na Hvězdárně v Úpici bylo navrženo nové použití dílů kaskády filtru a to tak, že bude pozorování prováděno každým z jednoduchých křemenných dílů, s doplňkem o dielektrickou předsádku. Ukázalo se, že taková sestava je použitelná tehdy, když se dvojlomný člen doplní filtrem, který je sestaven z jediné dvojlomné destičky vhodné tloušťky. Destička byla volena pracující v řádu $k_4=47.5$. (Praktické pozorování se provádělo složením dielektrické předsádky, hlavního filtru F a předsádky s filtrem F2.)

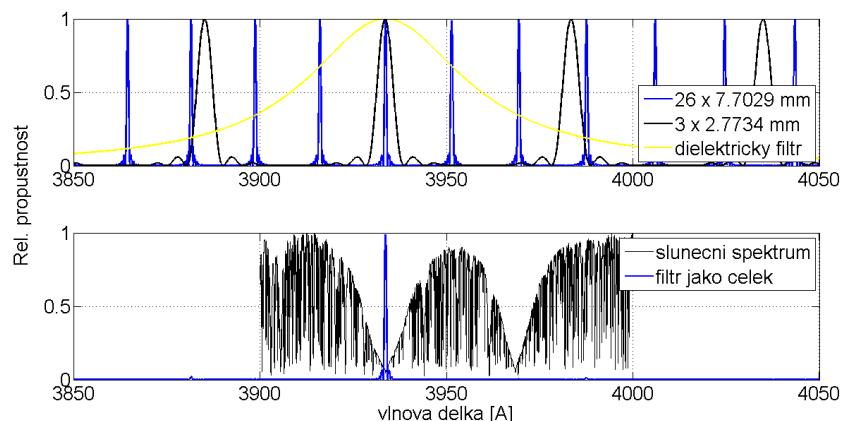


Obr.2. Graf propustnosti filtru K využívaný k pozorování v Úpici v letech 2006-12.

Pro tyto úvahy bylo nutno přesně zjistit disperzi dvojlomu SiO_2 materiálu v oblasti čáry K. K tomu proběhla měření [8], jejichž výsledky byly použity k volbě tloušťek desek představující jednoduchý hradící filtr. Ukázalo se, že zhotovení této koncepce filtru, kde filtr - monochromátor je sestaven z tepelného filtru, hradícího dielektrického filtru, jedné vhodně tlusté destičky a křemenné kaskády hlavního filtru, je obtížně regulovatelná soustava, pokud se pro takový celek používá pouze jediný termostat zajišťující teplotní stabilitu.

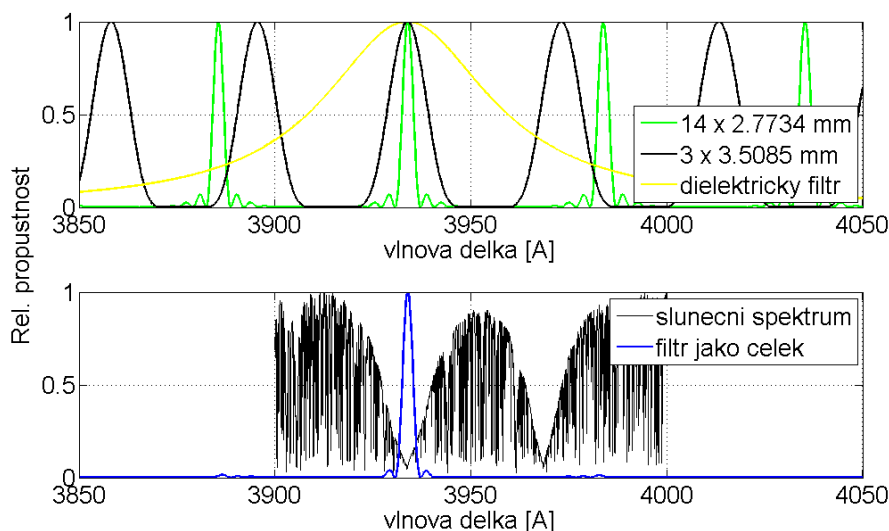
Realizace nové předsádky

Byla navržena nová koncepce, odstraňující uvedený problém. Malý hradící filtr byl zhotoven jako samostatný mechatronický člen, který svou mechanickou objímkou pouzdří optické díly a tento celek je vyhříván vestavěným termostatem. Takové řešení bylo zhotoveno a laboratorně odzkoušeno. Nyní je předáno k odzkoušení funkčnosti do sluneční laboratoře Hvězdárny v Úpici.



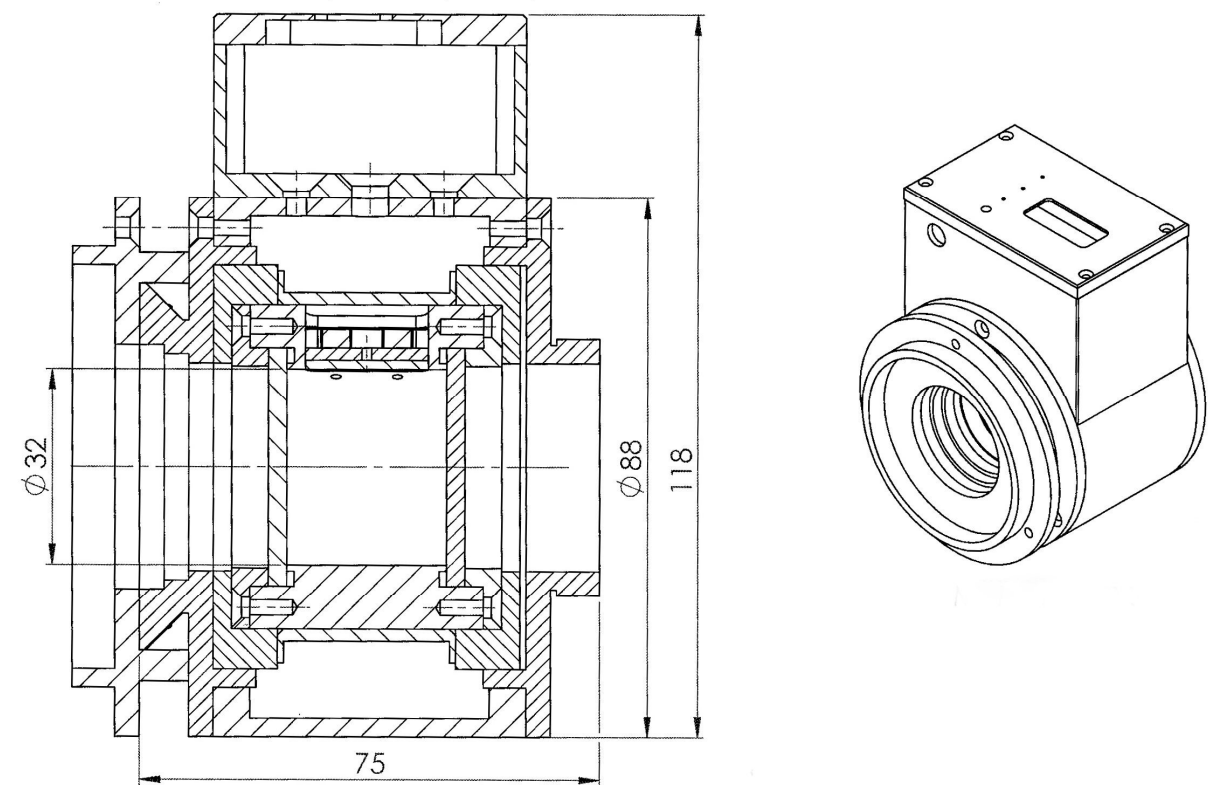
Obr.3 Funkce hrazení hlavního filtru F novým typem předsádky

Předsádka je sestavena z pouhých 3ks SiO_2 destiček, pracujících v řádu $k_3=85.5$. Na obr. 3 je znázorněna funkce hrazení pro hlavní filtr F. Výhodou je, že posun spektrální propusti lze nyní snadno ladit změnou teploty T_3 termostatem předsádky. Použití této předsádky pro hrazení filtru F1 s pološířkou $\delta\lambda=0.16$ nm je uvedeno na obrázku 4. Obdobný výsledek poskytne předsádka i pro použití s filtrem F2.

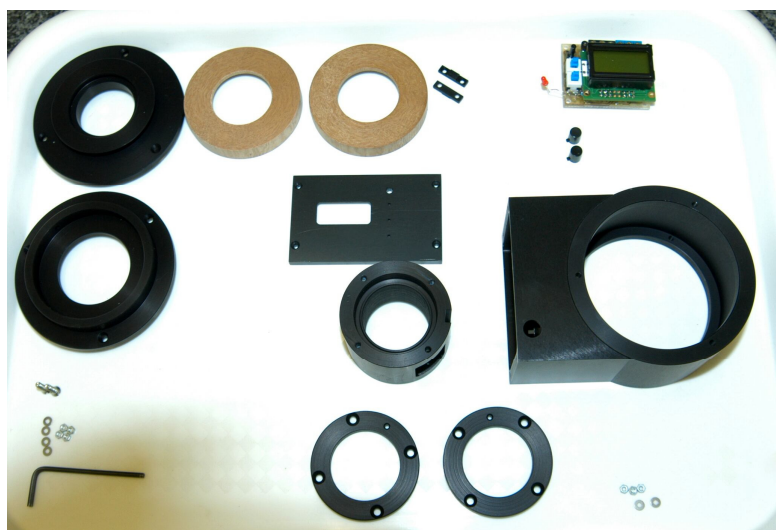


Obr.4 Funkce hrazení hlavního filtru F1 pološířky $\delta\lambda=0.16$ nm novým typem předsádky

Mechanika objímky filtru je uvedena na obr. 5, následující obr. 6 zobrazuje komplet dílů před sestavením předsádku filtru.



Obr. 5. Sestava mechaniky předsádky s termostatem.



Obr. 6. Soustava jednotlivých dílů před montáží kompletu předsádky.

Závěr

V práci je uveden stručný přehled práce na sestavení optimalizované soustavy úzkopásmového polarizačně-interferenčního filtru pracující v čáře K, tedy na vlnové délce $\lambda=393.4$ nm, a to s možností volby pološířky $\delta\lambda=0.08$ nm, nebo $\delta\lambda=0.16$ nm, nebo $\delta\lambda=0.28$ nm. Je předpoklad, že nově realizovanou laditelnou předsádkou

hlavních filtrů budou získány ještě kvalitnější záznamy chromosféry v této astronomicky zajímavé oblasti spektra.

Je škoda, že Hvězdárna v Úpici nezískala uvažované finance pro stavbu nového slunečního pavilonu. Tam bylo počítáno s vybudováním stabilní soustavy pro pozorování chromosféry, mimo jiné též s využitím výše uvedených třech filtrů, poskytujících zobrazení v různých výškách chromosféry v čáře K.

Poděkování: Tato práce byla podporovaná dotací OP VaVpI MŠMT ČR, projektové číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0079: Výzkumné centrum pro speciální optiku a optoelektronické systémy (TOPTEC) [9]. K řešení též bylo využito poznatků z řešení projektu 1QS100820502.

Literatura

- [1] Šolc I., Řetězové dvojlomné filtry. Čs.Čas.Fyz. 10, (1960), s.16-34.
- [2] Mikš A., Aplikovaná optika 10, ČVUT, Praha 2000, s. 259
- [3] Melich Z., Šolc I., Křivský L., Klimeš J.st, Řetězový filtr pro pozorování chromosféry Slunce v čáře K, JMO 48, (2003), č. 11-12, s. 330-332.
- [4] Šolc I., Koincidenční řetězové dvojlomné filtry, JMO 16, (1971), s. 159-161.
- [5] Yariv A., Jeh P., Optical Waves in Crystals, John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2003, p.588, (Překlad A.Jaryv, P.Jech, Optičeskije volny v kristalach, Mir, Moskva 1987, 616s.
- [6] Knitl Z., Optics of Thin Films, John Wiley&Sons, New York 1976, p. 548.
- [7] Šolc I., Disperzní relace dvojlomu křemene a vápence, JMO 29, (1984), s. 43-44.
- [8] Melich R., Bečička O., Klimeš J, st., Lédl V., Teplotní a disperzní charakteristika dvojlomu krystalického křemene, Sborník konference Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí 2009, Hvězdárna v Úpici, Úpice 2010, s. 39-44.
- [9] Projekt OP VaVpI CZ.1.05/2.1.0/03/0079, MŠMT, Praha 2010.