

1 Pracovní úkoly

1. Proměřte charakteristiky předložených vzorků a naměřené charakteristiky pomocí vhodného software zpracujte.
2. Analýzou získaných výsledků správně přiřadte změřené charakteristiky následujícím vzorkům a zdůvodněte:
 - dielektrický úzkopásmový filtr pro rubínový laser
 - filtr RG7 (horní propust 700 nm)
 - ochranné brýlové sklo pro práci s Nd:YAG laserem
 - rubínový krystal
 - zrcadlo pro Nd:YAG laser
 - zrcadlo pro rubínový laser
 - infračervený filtr (horní propust 600 nm)
 - křemíková destička
 - sklo z černých brýlí
3. Z naměřených charakteristik pro:
 - a) Dielektrický úzkopásmový filtr pro rubínový laser
 - Změřte šířku transmisního pásu $\Delta\lambda$ pro rubínový laser.
 - Zjistěte vlnovou délku pro maximální hodnotu transmitance λ_{\max} pro rubínový laser.
 - b) Filtr RG7
 - Zjistěte vlnovou délku $\lambda_{1/2}$, pro kterou je transmitance rovna $T = 0,5$.
 - c) Rubínový krystal
 - Určete polohu všech maxim absorpce λ_{\max} a šířky jednotlivých absorpčních pásů $\Delta\lambda$.
 - Spočítejte koeficienty interní absorpce α (při výpočtu nejprve odečtěte Fresnelovské ztráty na čelech krystalu, které jsou dány indexem lomu materiálu).
 - Rozhodněte, zda se jedná o 3- nebo 4- hladinový energetický systém.
 - Zdůvodněte lokální absorpční maximum na vlnové délce 694 nm.
 - d) Zrcadlo pro Nd:YAG laser
 - Odhadněte jeho použitelnost jako HR (high reflectivity) zrcadla, tzn. oblasti $\Delta\lambda$, kde je $R > 98\%$.
 - Stanovte a zdůvodněte, zda je vhodné jako HR zrcadlo pro buzení laserovou diodou na vlnové délce $\lambda = 808\text{nm}$.
 - e) Zrcadlo pro rubínový laser
 - Odhadněte jeho použitelnost jako HR zrcadla, tzn. oblasti $\Delta\lambda$, kde je $R > 98\%$.
 - f) Laserový krystal Nd:YVO4
 - Určete polohu významných maxim absorpce v rozsahu 800 až 900 nm. Které z těchto maxim jsou využívány pro čerpání tohoto aktivního materiálu prostřednictvím laserových diod?
 - Odhadněte, jakou šířku generované spektrální čáry by měla mít laserová dioda, kterou by bylo vhodné využít pro čerpání tohoto aktivního prostředí.

- Uvedte významné vlnové délky záření, které jsou generovány lasery s tímto typem aktivního prostředí. Pozorujete pokles transmise na těchto vlnových délkách a proč?
- Rozhodněte, zda se jedná o 3- nebo 4- hladinový energetický systém.

g) Laserový krystal Er:sklo

- Určete polohu významných maxim absorpce v rozsahu 800 až 1000 nm. Které z těchto maxim jsou využívány pro čerpání tohoto aktivního materiálu prostřednictvím laserových diod?
- Odhadněte, jakou šířku generované spektrální čáry by měla mít laserová dioda, kterou by bylo vhodné využít pro čerpání tohoto aktivního prostředí.
- Uvedte významné vlnové délky záření, které jsou generovány lasery s tímto typem aktivního prostředí. Pozorujete pokles transmise na těchto vlnových délkách a proč?
- Rozhodněte, zda se jedná o 3- nebo 4- hladinový energetický systém.

h) Krystal Cr:YAG

- Určete využití tohoto krystalu v laserové technice.
- měřte tloušťku vzorku a spočítejte interní absorpční koeficient na vlnové délce $\lambda = 1,06\mu m$. Při výpočtu nejprve odečtete Fresnelovské ztráty na čelech krystalu

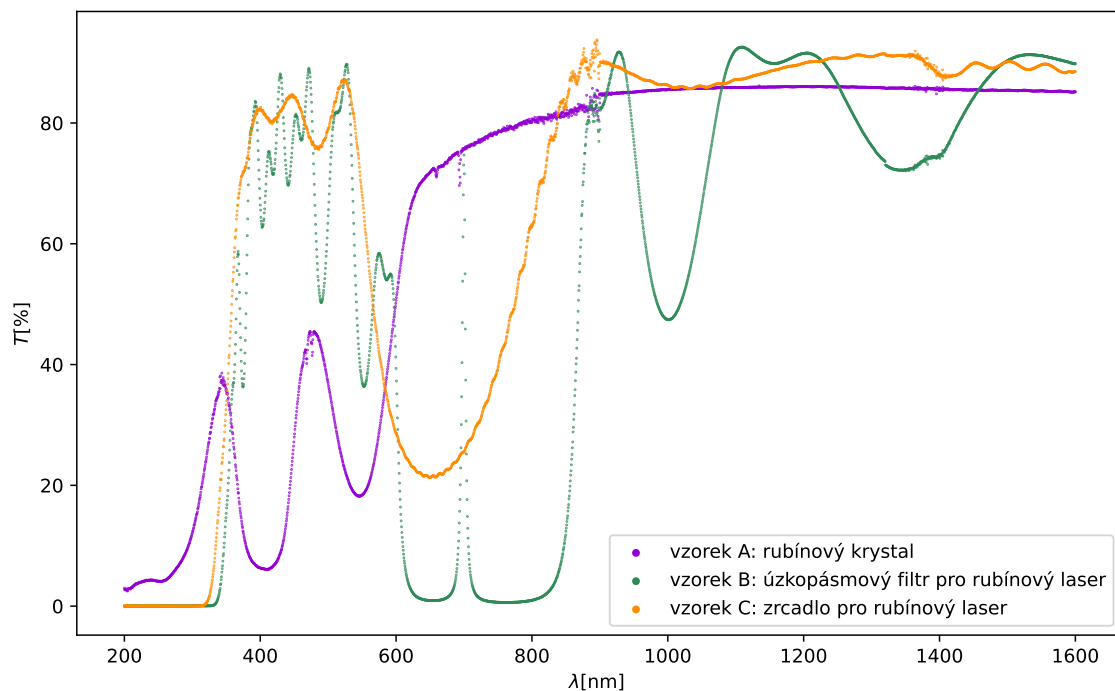
4. Vysvětlete, proč při měření vzorků menších, než je plocha měřicího svazku, by naměřená charakteristika neodpovídala skutečnosti.

2 Vypracování

Vzorky k proměření byly označeny písmeny A-I. Přiřazení k vzorkům ze seznamu se nachází v Tab. 1. Naměřená transmisní spektra se nacházejí na obrázcích 1, 2 a 3.

Objekt	Přiřazený vzorek	Zdůvodnění
A	Rubínový krystal	Absorpční peak na vln. délce laserového záření rubínu
B	Dielektrický úzkopásmový filtr pro rubínový laser	Vysoká transmise bezprostředně kolem vln. délky laserového záření rubínu
C	Zrcadlo pro rubínový laser	Snížená transmise pro vln. délku záření rubínu
D	Filtr RG7 (horní propust 700 nm)	Náhlý pokles transmise pro vln. délky kolem 700 nm a méně
E	Zrcadlo pro Nd:YAG laser	Snížená transmise kolem 1060 nm
F	Ochranné brýlové sklo pro práci s Nd:YAG laserem	Velmi nízká transmise pro vln. délky nad 1000 nm
G	Infračervený filtr (horní propust 600 nm)	Náhlý pokles transmise pro vln. délky kolem 600 nm a méně
H	Křemíková destička	Vysoká absorpce až do 1000 nm
I	Sklo z černých brýlí	Absorpce ve viditelném spektru

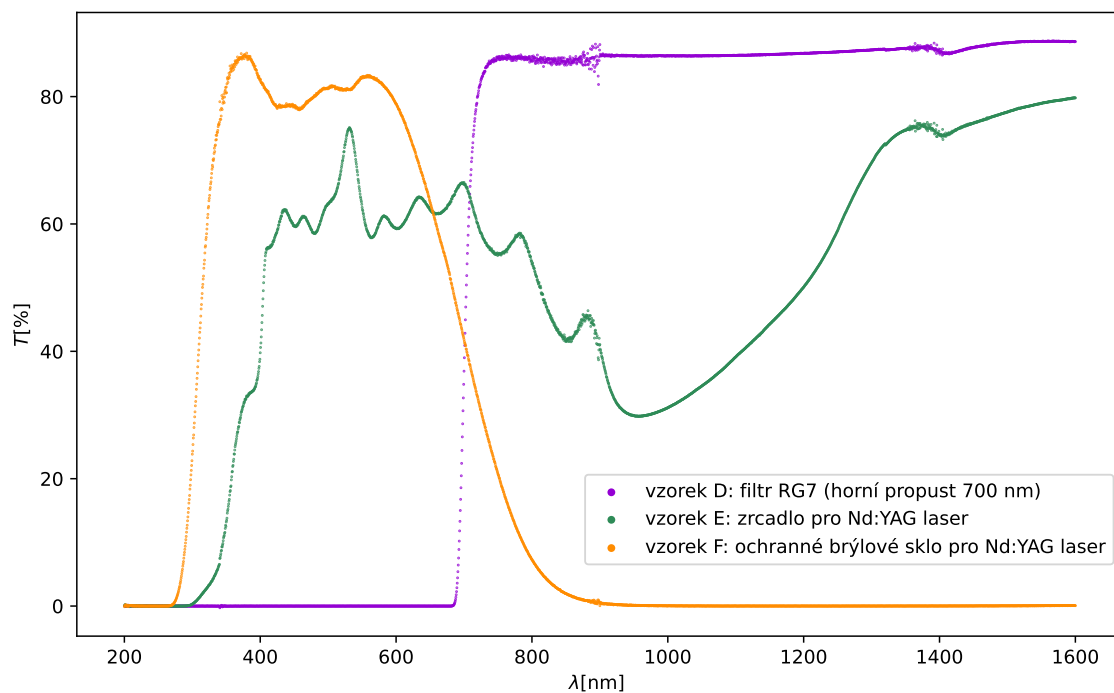
Tab. 1: Přiřazený seznam proměřených vzorků se zdůvodněním.



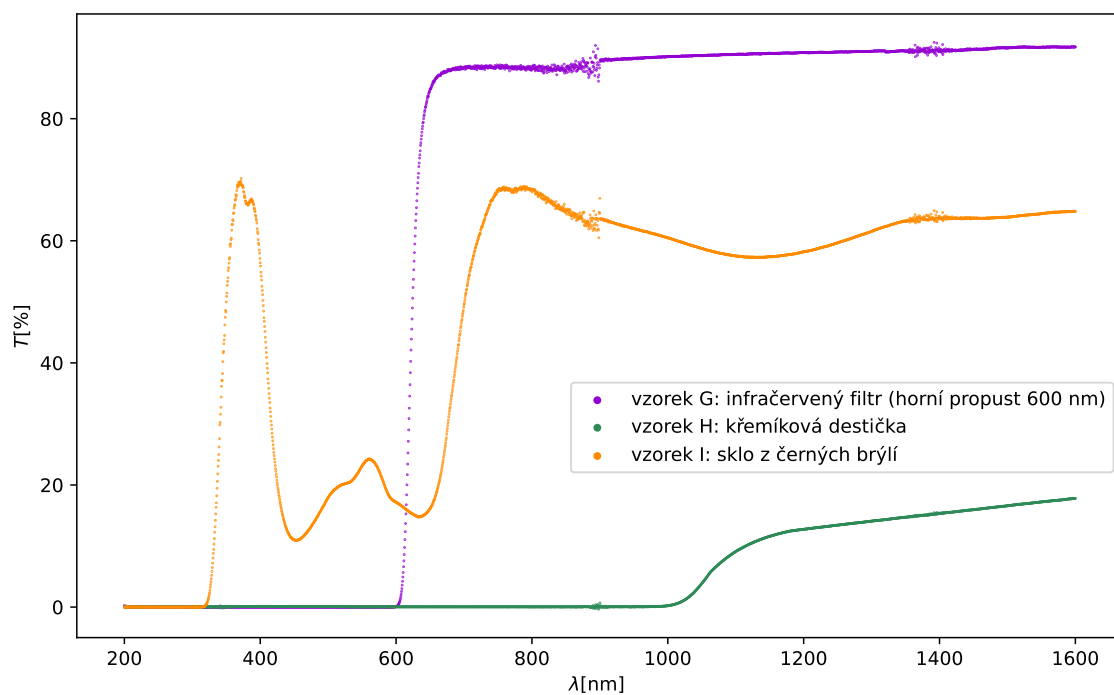
Obr. 1: Transmisní spektra vzorků A, B a C.

2.1 Dielektrický úzkopásmový filtr pro rubínový laser

Šířku transmisního pásu jsme určili jako $\Delta\lambda = 11,3 \text{ nm}$ a vlnovou délku pro maximální transmitanci jako $\lambda_{\text{max}} = 700 \text{ nm}$. Přiblížení transmisního peaku je na obr. 5



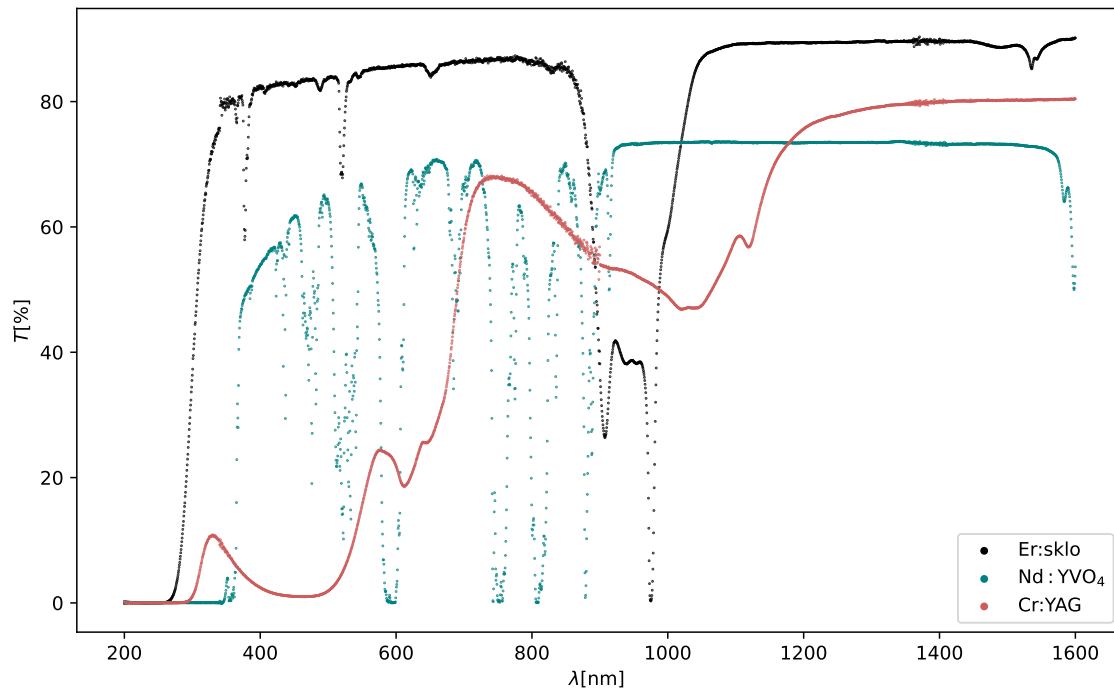
Obr. 2: Transmisní spektra vzorků D, E a F.



Obr. 3: Transmisní spektra vzorků G, H a I.

2.2 Filtr RG7

Vlnovou délku, pro kterou je transmise rovna $T = 0,5$ jsme určili jako $\lambda_{1/2} = 703,5 \text{ nm}$.



Obr. 4: Transmisní spektra vzorků laserových krystalů.

2.3 Rubínový krystal

Jednotlivá maxima absorpce λ_{\max} a jim příslušné šířky absorpčních pásů $\Delta\lambda$ a koeficienty interní absorpce α se nachází v Tab. 2. Absorpční pík na 693 nm odpovídá vlnové délce zářivého přechodu při generování laserového záření.

$\lambda_{\max}[\text{nm}]$	$\Delta\lambda[\text{nm}]$	$\alpha[\text{cm}^{-1}]$
410,0	162,4	2,47
545,5	142,3	1,50
693,0	5,5	0,32

Tab. 2: Polohy a šířky jednotlivých maxim absorpce.

Z toho, že k absorpci na této vlnové délce dochází, soudíme, že se jedná o tříhladinový energetický systém.

2.4 Zrcadlo pro Nd:YAG laser

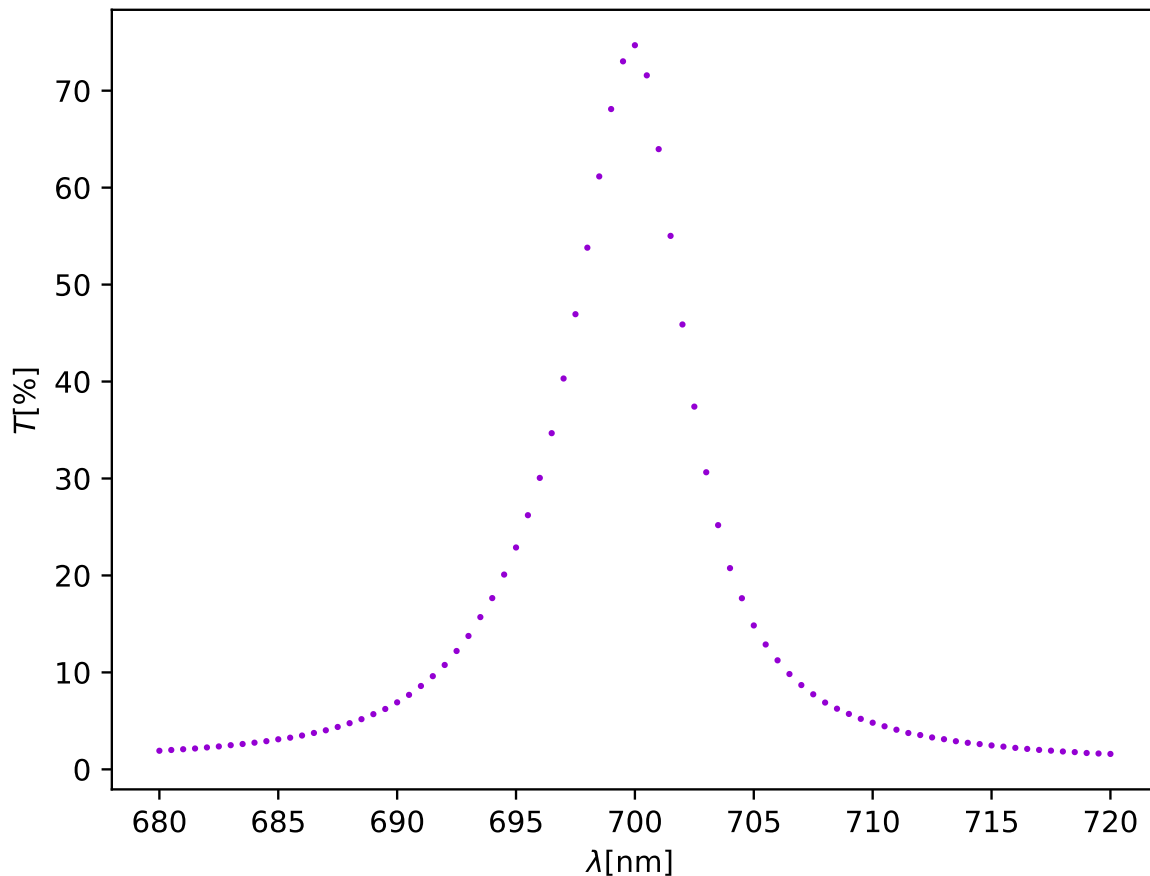
Vzhledem k tomu, že transmise kolem 1 mikrometru je stále ještě kolem 30 %, pak je vyloučeno, aby reflektivita byla >98 %. Transmise na 808 nm je zhruba 50 %, tedy zrcadlo není vhodné pro čerpání diodou.

2.5 Zrcadlo pro rubínový laser

Transmise pro vlnové délky kolem 695 nm je příliš vysoká – kolem 30 %, tedy zrcadlo není použitelné jako HR zrcadlo pro tuto vlnovou délku.

2.6 Laserový krystal Nd:YVO4

Transmisní spektrum odhalilo peaky absorpce na vlnových délkách 808 nm, 835 nm, 878 nm a 888 nm. K čerpání pomocí laserových diod je nejčastěji používáno maximum na 808 nm, ovšem někdy se používá i čerpání vlnovou délkou 878 nm. Šířky těchto peaků (a tedy i optimální šířka pásma použité diody) odpovídá 24 nm pro čerpání na 808 nm a 16 nm pro čerpání na 878 nm.

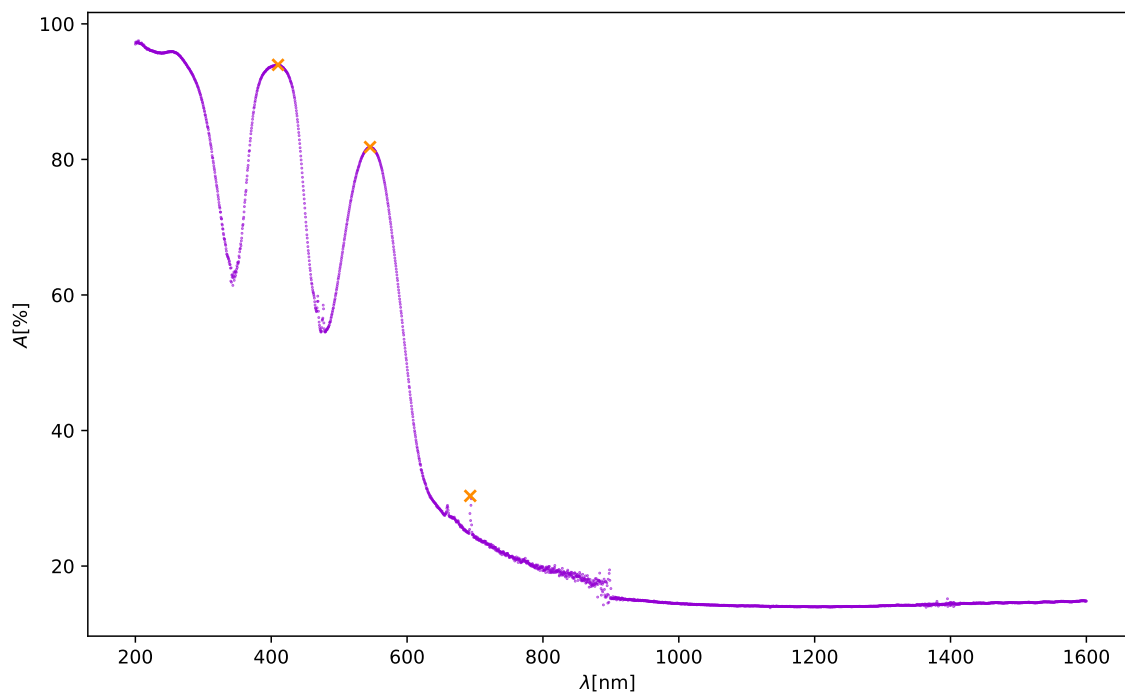


Obr. 5: Transmisní peak dielektrického úzkopásmového filtru pro rubínový laser v oblasti kolem 694 nm.

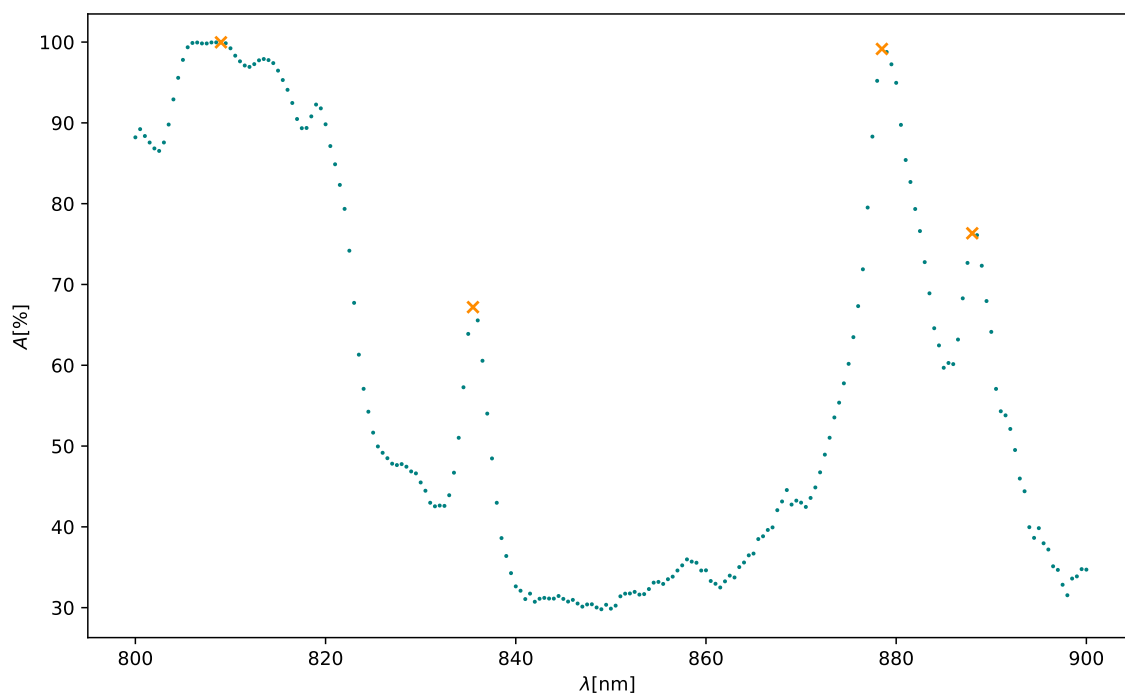
Vlnové délky laserového záření generované krystalem Nd : YVO₄ jsou 914 nm, 1064 nm a 1342 nm. Na 914 nm je znatelný pokles transmise, na ostatních zmíněných vlnových délkách ne. Pro vlnovou délku 914 nm se tedy jedná o tříhladinový systém, pro 1064 a 1342 nm jde o systém čtyřhladinový (ani jedna z hladin, mezi kterými dochází k zářivému přechodu ve čtyřhladinovém laseru, není stabilní a absorpce je proto nepravděpodobná).

2.7 Laserový krystal Er:sklo

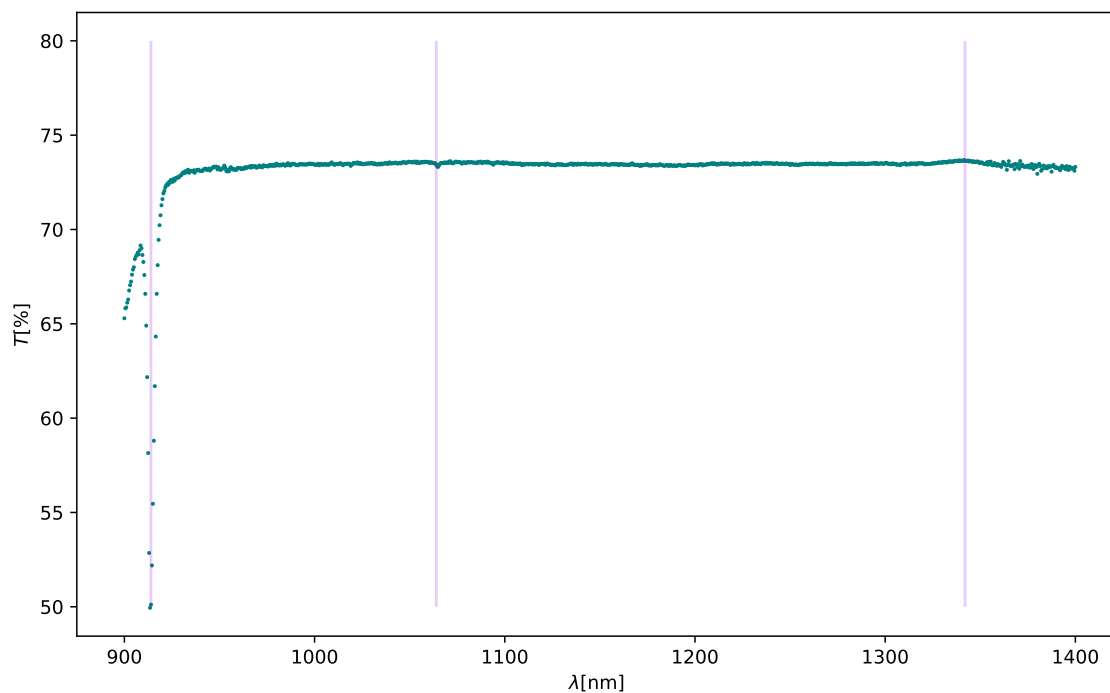
Z transmisního spektra jsou patrné dvě absorpční maxima, první okolo 908 nm a druhé okolo 975 nm. K čerpání se nejčastěji používají vlnové délky kolem 975 nm. Šířka tohoto absorpčního peaku je 25 nm, což je tedy také optimální spektrální šířka použité čerpací diody. Er:sklo lasery produkují laserové záření na vlnových délkách 1535, 1544 a 1562 nm. V transmisním spektru je pozorovatelný pokles transmisivity na 1535 nm a 1544 nm. Na těchto vlnových délkách se tedy jedná o tříhladinový systém, zbylá vlnová délka 1562 nm odpovídá čtyřhladinovému systému.



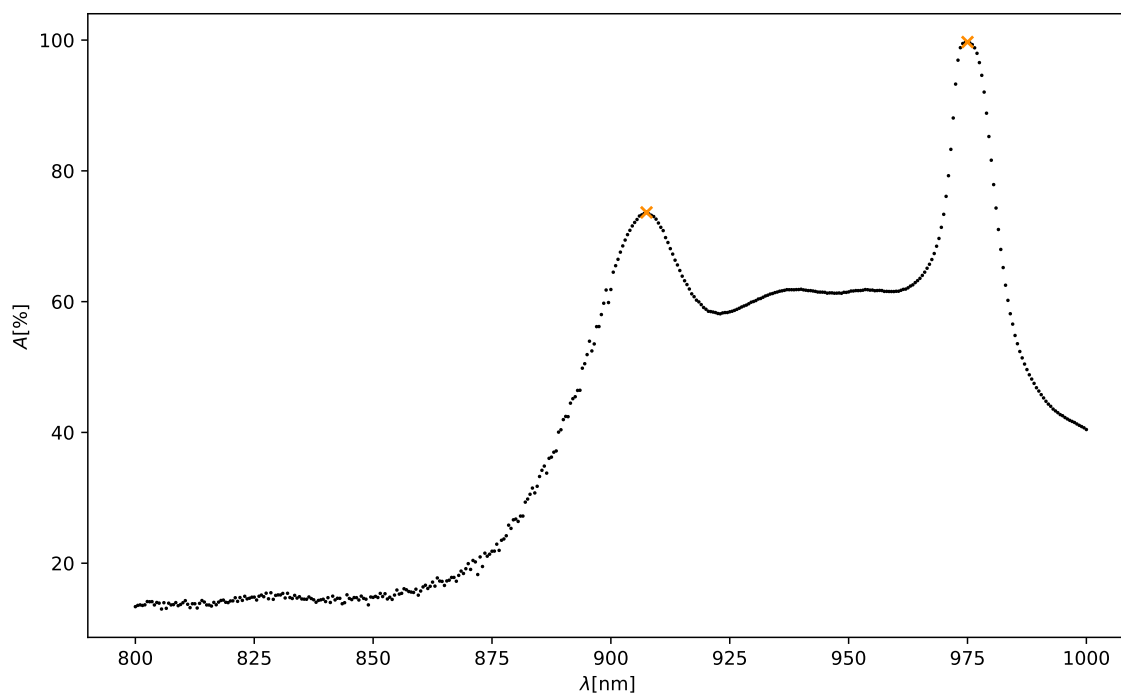
Obr. 6: Absorpční spektrum rubínového krystalu s vyznačenými peaky. Ztráty způsobené odrazem byly zanedbány.



Obr. 7: Peaky absorpce krystalu Nd : YVO₄ v rozmezí 800 - 900 nm. Ztráty způsobené odrazem byly zanedbány.



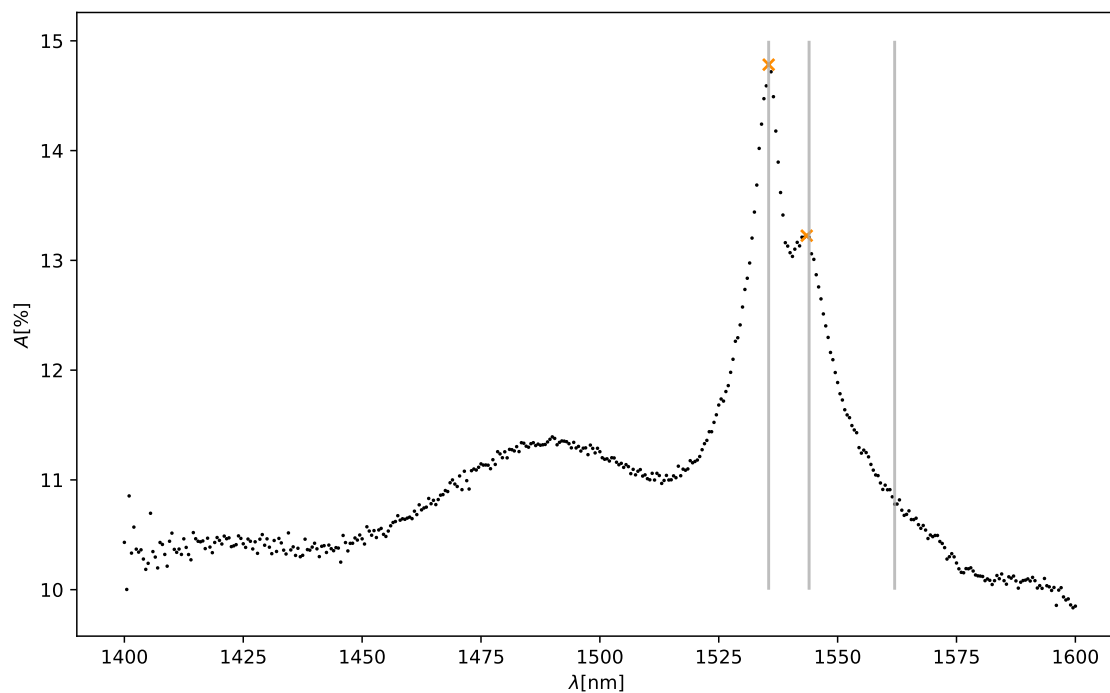
Obr. 8: Transmisní spektrum krystalu Nd : YVO₄ s vyznačenými vlnovými délkami zářivých přechodů při generaci laserového záření.



Obr. 9: Absorpční peaky krystalu ER:sklo v rozmezí 800 - 1000 nm. Ztráty způsobené odrazem byly zanedbány.

2.8 Krystal Cr:YAG

V laserové technice se Cr:YAG používá jako saturovatelný absorbér pro Nd:YAG lasery, dále může sloužit jako aktivní médium pro laditelný laser na vlnových délkách mezi 1350 a 1550 nm a také je možné jej použít pro generování



Obr. 10: Absorpční spektrum krystalu ER:sklo v blízkosti vlnových délek zářivých přechodů při generaci laserového záření. Ztráty způsobené odrazem byly zanedbány.

femtosekundových pulsů. Tloušťka měřeného krystalu byla 1,04 mm a interní absorpční koeficient α_{1060} pro vlnovou délku 1060 nm je roven přibližně $6,8 \text{ cm}^{-1}$

2.9 Vliv neúplného zakrytí plochy měřicího svazku vzorkem

Při měření vzorků menších, než je plocha měřicího svazku, kolem vzorku na detektor projde světlo, které by jinak vzorkem bylo absorbováno či odraženo. Kvůli tomu dojde ke zkreslení hodnot transmisivity, zejména pro vlnové délky, na kterých má vzorek transmisivitu nízkou.