

CALCULATION OF THE REFRACTIVE INDEX BASED ON WAVELENGTH AND CONCENTRATION OF DOPANTS IN SILICA OPTICAL FIBERS.

Angel Z. Toshkov

Abstract: This paper proposes a formula for calculating of the refractive index of two-component material, based on SiO_2 and doped with P_2O_5 , B_2O_3 , F or TiO_2 . The formula is suitable for practical-applied goals, as well as in the training of students for calculating of the parameters of cores and cladding of optical fibers for the communications.

Keywords: refractive index, dopant, additives, wavelength, calculation

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ПРЕЧУПВАНЕ ВЪЗ ОСНОВА НА ДЪЛЖИНАТА НА ВЪЛНАТА И КОНЦЕНТРАЦИЯТА НА ЛЕГИРАЩЕТЕ МАТЕРИАЛИ В СИЛИЦИЕВИ ОПТИЧНИ ВЛАКНА.

Ангел З. Тошков

Абстракт: В тази публикация са предложени обобщени формули за пресмятане на коефициента на пречупване на двукомпонентен материал базиран на SiO_2 и легиран с P_2O_5 , B_2O_3 , F или TiO_2 . Статията е подходяща за практико-приложни цели, както и при обучението на студенти за пресмятане на коефициент на пречупване на базата на концентрацията на легиращ материал при изграждане на ядрата и обвивките на оптични влакна предназначени за комуникациите.

Ключови думи: коефициент на пречупване, легиращи добавки, дължина на вълната, пресмятане.

I. Въведение

В публикацията се предлагат модифицирани версии на обобщената формула за пресмятане на коефициента на пречупване на двукомпонентен материал базиран на SiO_2 легиран GeO_2 [1] при легиране с P_2O_5 , B_2O_3 , F или TiO_2 . Формулата трябва да е подходяща за практико-приложни цели, както и при обучението на студенти при проектиране на параметрите на ядрата и обвивките на оптични влакна предназначени за комуникациите.

Съвременните оптични влакна се изграждат от множество слоеве, които имат различаващ се коефициент на пречупване. Посредством последователното изграждане на всеки един слой поотделно се моделира предварително зададен, сложен профил на коефициента на пречупване, който да отговаря най-добре на поставените към влакното изисквания. За пресмятане на коефициента на пречупване n_i на всеки отделен слой от влакното може да бъде използвана формулата на Sellmeier валидна за двукомпонентни стъкла.

По-долу в статията са дадени примери за пресмятане на коефициента на пречупване на единичен двукомпонентен слой за оптични влакна, изградени на основата на силициев двуокис, легирани с двуборен триокис, двуфосфорен петокис, титаниев двуокис и флуор.

За пресмятане на коефициента на пречупване n на всеки отделен слой от влакното при легиране с P_2O_5 , B_2O_3 и Fe използвана формулата на Sellmeier даваща емпирична връзка между коефициента на пречупване и дължина на вълната за конкретна прозрачна среда.

$$n = \sqrt{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2}}$$

В тази формула n е коефициентът на пречупване на средата, λ е дължината на вълната (във вакуум), а A_i и λ_i (в μm) са експериментално определени коефициенти на Sellmeier.

Обикновено уравнението се използва за определяне на дисперсията на светлината в средата.

Формулата на Sellmeier и изведените за нея коефициенти обикновено са представени в табличен вид за различни материали и са валидни за двукомпонентни стъкла. Тя е валидна за видимата и близката инфрачервена област от дължините на светлинните вълни от $\lambda - 0.4 \sim 1.8 \mu m$.

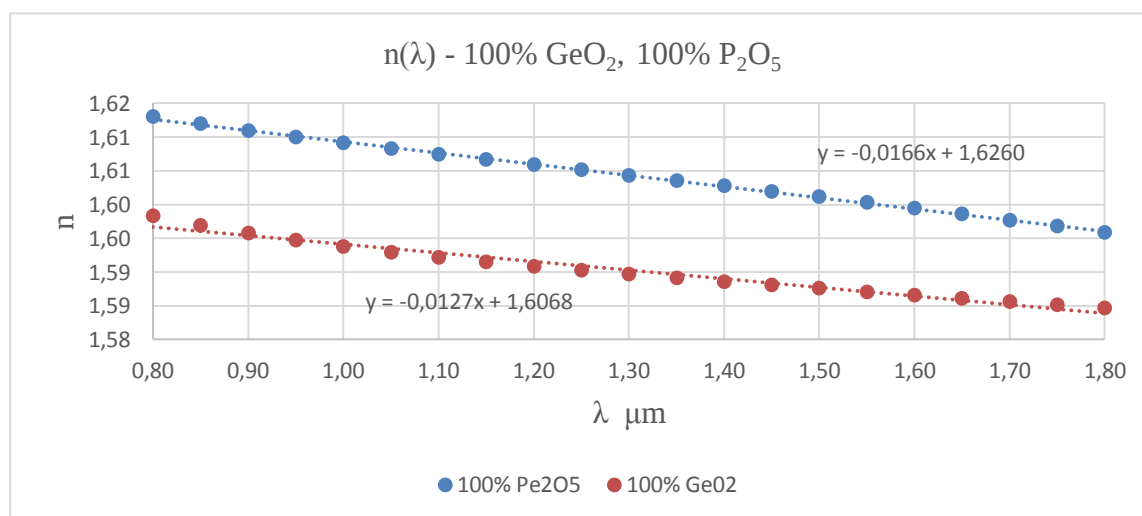
При легиране с TiO_2 е използвана формулата на Devore [8] и валидна за видимата и близката инфрачервена област.

$$n = \sqrt{5.913 + \frac{0.2441}{\lambda^2 - 0.0803}}$$

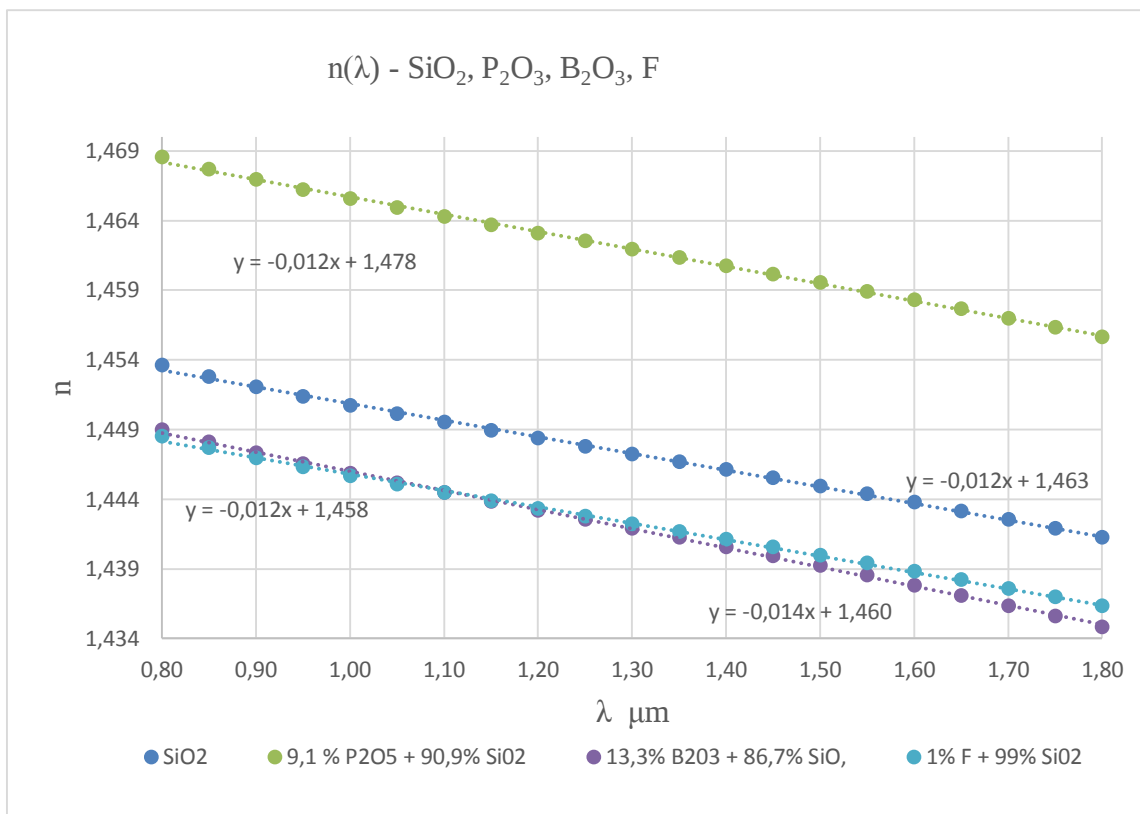
II. Обработка на данните и анализ на резултатите

Необходимата информация е получена от няколко източника и справочни масиви за данни, публикувани в [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] и [8], съдържащи данни за коефициентите на Sellmeier за P_2O_5 , B_2O_3 , F и TiO_2 , използвани за легиране при изграждането на ядрото и обвивката на силициеви оптични влакна.

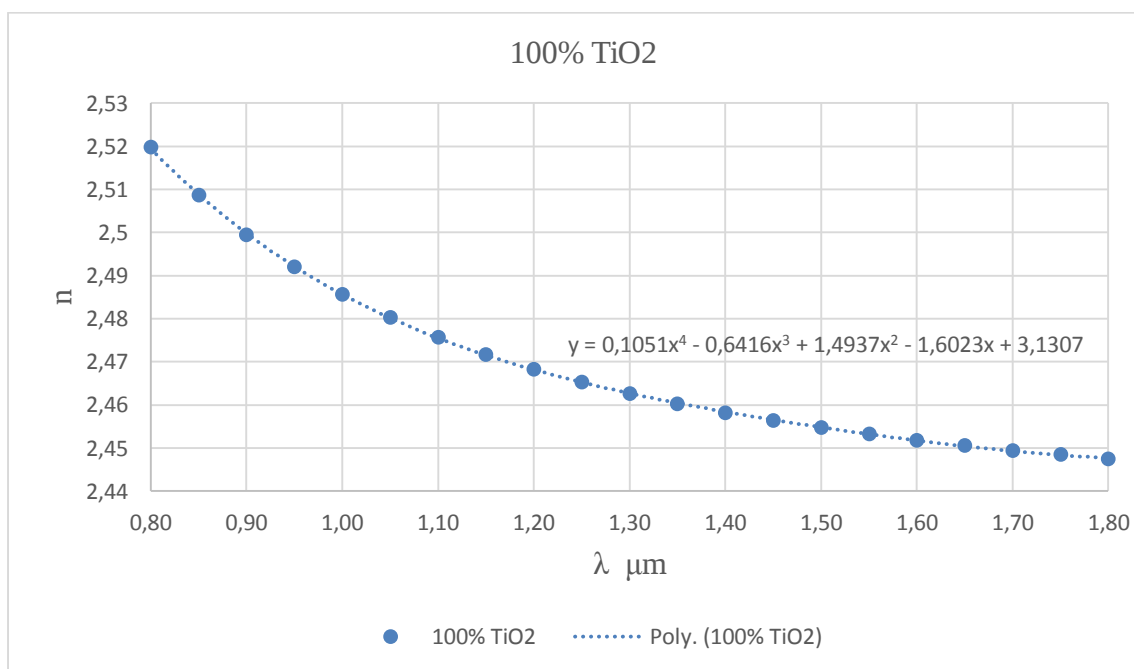
Използваните изходни данни са приложени в таблици 1,2 и 3 на Приложение 1. След тяхната обработка, част от резултатите даващи представа за характера на честотната зависимост $n(\lambda)$ на стъкла от SiO_2 , легирани с GeO_2 , P_2O_5 , B_2O_3 , F и TiO_2 са представени на фиг. 1, фиг. 2 и фиг. 3



Фиг. 1 Връзка $n(\lambda)$ за чисти 100% GeO_2 и 100% P_2O_5



Фиг. 2 Връзка $n(\lambda)$ за SiO_2 , P_2O_5 , B_2O_3 и F



Фиг. 3 Връзка $n(\lambda)$ за 100% TiO_2

Резултатите, представени на Фиг. 1 и Фиг. 2 са получени по формулата на Sellmaier. Графиката на Фиг. 3 за TiO_2 е получена по формулата на Devore [8].

В [1] за пресмятане на коефициента на пречупване на SiO_2 легиран с GeO_2 е предложена следната формула:

$$n(\lambda, d_{\% \text{GeO}_2}) = n(\lambda_0 \text{ SiO}_2) + \text{step}_{\%} * d_{\% \text{GeO}_2} - \text{step}_{\lambda} * (\lambda - \lambda_0) \quad (1)$$

където:

λ - дължината на вълната за която искаме да пресметнем $n(\lambda)$ в μm ;

λ_0 - избрана базисна дължина на вълната в μm . Например $\lambda_0 = 0,8 \mu\text{m}$;

$n(\lambda_0 \text{ SiO}_2)$ - коефициент на пречупване за избраната базисна дължина на вълната за силициев двуокис. При дължина на вълната $\lambda_0 = 0,8 \mu\text{m}$ $n(\lambda_0 \text{ SiO}_2) = 1,4533317$.

$\text{step}_{\%}$ - средна стойност на стъпката с която се променя коефициентът на пречупване при промяна с 1% на концентрацията на съответния легиращ материал. За германиев двуокис приемаме $\text{step}_{\%} = 0,00155729$. В случая конкретната стойност е получена чрез апроксимацията показана на Фиг. 5. Стойността може да бъде пресметната като разликата между коефициента на пречупване при легиране с 13,5% и при чист силициев двуокис, взети при една и съща дължина на вълната, разделен на 13,5 стъпки. Анализът показва, а и на фиг. 4 ясно се вижда, че стъпката се запазва относително равномерна в целия изследван вълнов спектър, поради което можем да я оставим без честотна компенсация. Това ще доведе до грешка, която при ниски концентрации на легиращ материал може да бъде пренебрегната. [1]

step_{λ} - средна стойност на стъпката с която се променя коефициентът на пречупване на основния материал при промяна с 1% на дължината на вълната. За SiO_2 може да бъде намерена по аналогия със $\text{step}_{\%}$. За конкретния случай $\text{step}_{\lambda} = 0,0124$. За 100% тук сме приели 1 μm . Това е диапазонът от дължини на вълните от 0,8 до 1,8 μm в които попадат I-ви, II-ри, и III-ти оптичен прозорец. При тази постановка 1% е 0,01 μm . [1].

$d_{\% \text{GeO}_2}$ – стойност на процента на легиращия материал (като десетично число). Напр. $d_{\% \text{GeO}_2} = 2,5$ (2,5%) [1].

За намирането на $\text{step}_{\%}$ и step_{λ} е използвана линейна функция. Коефициентите са подбрани така, че резултатите от изчислението за $n(\lambda, d_{\%})$ при различните легиращи материали да имат минимална грешка в средата на диапазона, около дължина на вълната 1,3 μm .

При горните допускания за формула (1) [1] е получено:

$$n(\lambda, d_{\% \text{GeO}_2}) = 1,4533317 + 0,155729 * d_{\% \text{GeO}_2} - 0,0124 * (\lambda - \lambda_0) \quad (2)$$

Използвайки формула (2) и на база на резултатите от направения анализ за легиране на SiO_2 с P_2O_5 (Фиг. 2, Фиг. 3) предлагаме следната формула базирана на $\lambda_0 = 0,8 \mu\text{m}$:

$$n(\lambda, d_{\% \text{P}_2\text{O}_5}) = 1,4533317 + 0,1625 * d_{\% \text{P}_2\text{O}_5} - 0,0124 * (\lambda - 0,8). \quad (3)$$

за легиране с B_2O_3 :

$$n(\lambda, d_{\% \text{B}_2\text{O}_3}) = 1,4533317 - 0,0325 * d_{\% \text{B}_2\text{O}_3} - 0,0140 * (\lambda - 0,8). \quad (4)$$

за легиране с F:

$$n(\lambda, d_{\% \text{F}}) = 1,4533317 - 0,49 * d_{\% \text{F}} - 0,01225 * (\lambda - 0,8). \quad (5)$$

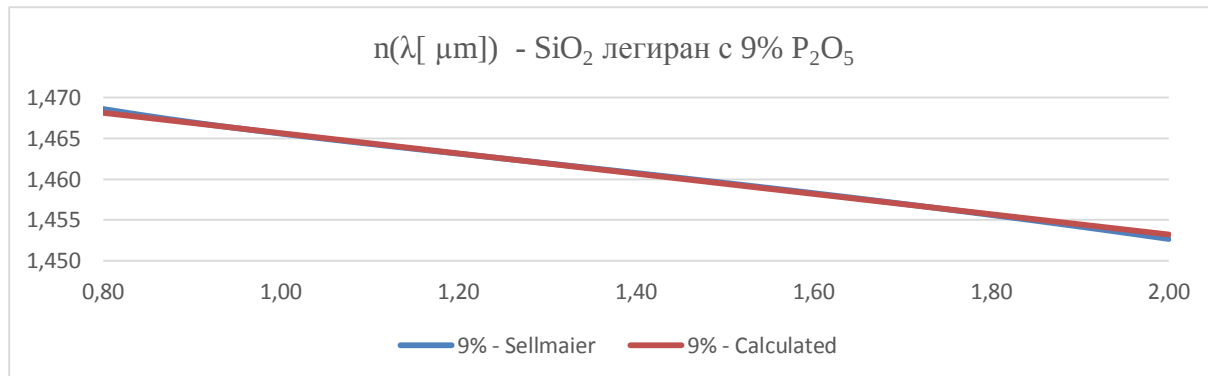
и за легиране с TiO_2 :

$$n(\lambda, d_{\% \text{TiO}_2}) = 1,453331 + (\sqrt{5,913 + 0,2441 / (\lambda^2 - 0,0803)} - 1,4533331) * d_{\% \text{TiO}_2} - 0,0124 * (\lambda - 0,8) \quad (6)$$

За получаването на (6) е използвана формулата на Devore [8].

III. Изчисления и проверка на резултатите

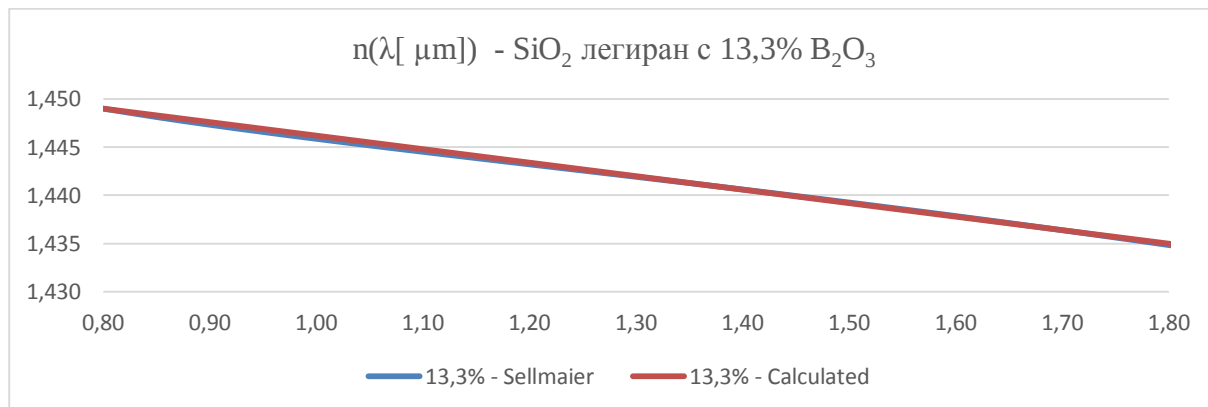
В Таблицы 1, 2 и Зот Приложение 1 са посочени изходните данни за изчисленията. В таблици 4, 5, 6 и 7 от Приложение 1 са пресметнати различните коефициенти на пречупване по Sellmaier или Devore и по формули (3), (4), (5) и (6). На фиг. 4, 6, 8 и 10 е направена съпоставка в графичен вид на коефициентите на пречупване пресметнати по Sellmaier или Devore и по формули (3), (4), (5) и (6). На фиг.5, 7, 9 и 11 е показана разликата между изчислените по формули (3), (4), (5) и (6) и по Sellmaier или Devore изразена в % като функция на дължината на вълната.



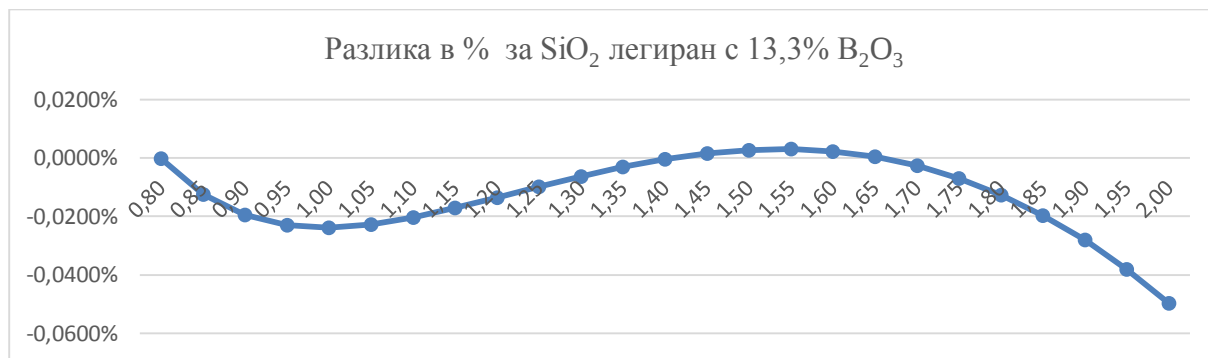
Фиг. 4 Съпоставка на коефициентите на пречупване пресметнати по Sellmaier и по формула (3) за SiO_2 легиран с 9% P_2O_5



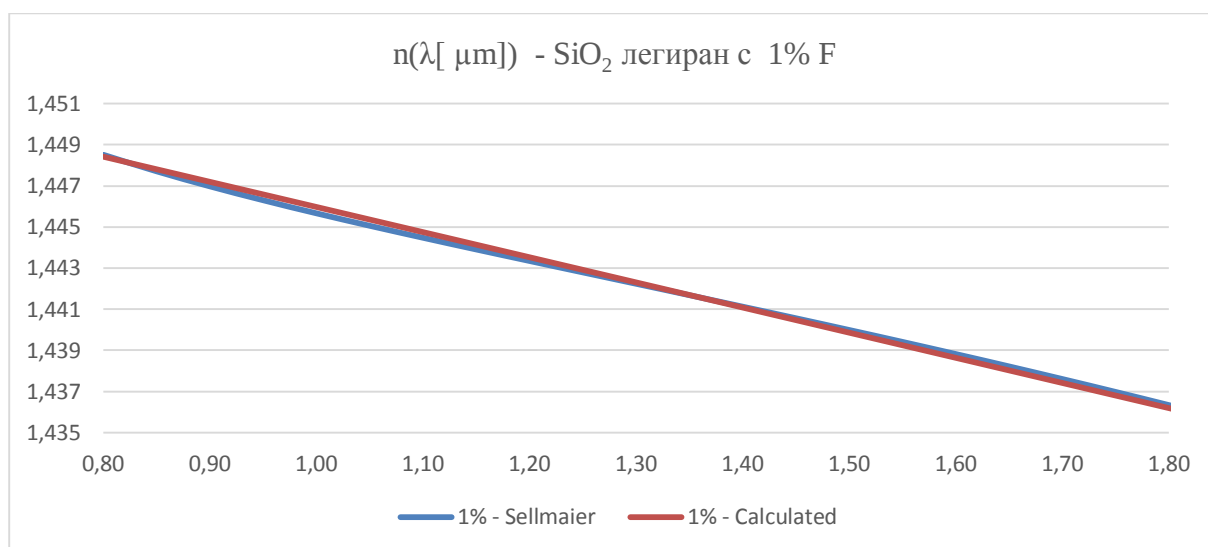
На фиг. 5. Разлика между изчислените по Sellmaier и по формула (3) стойности изразена в % като функция на дължината на вълната.



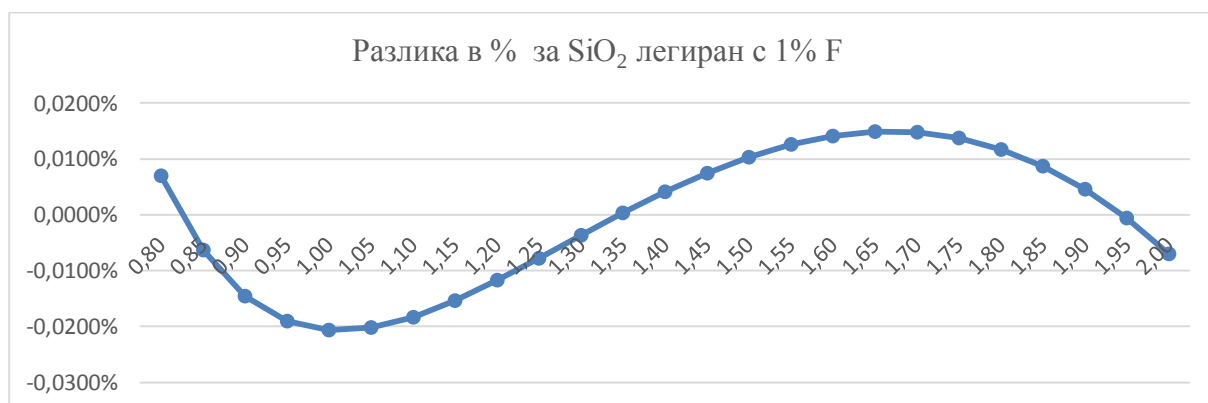
Фиг. 6. Съпоставка на коефициентите на пречупване пресметнати по Sellmaier и по формула (4) за SiO_2 легиран с 13,3% B_2O_3 .



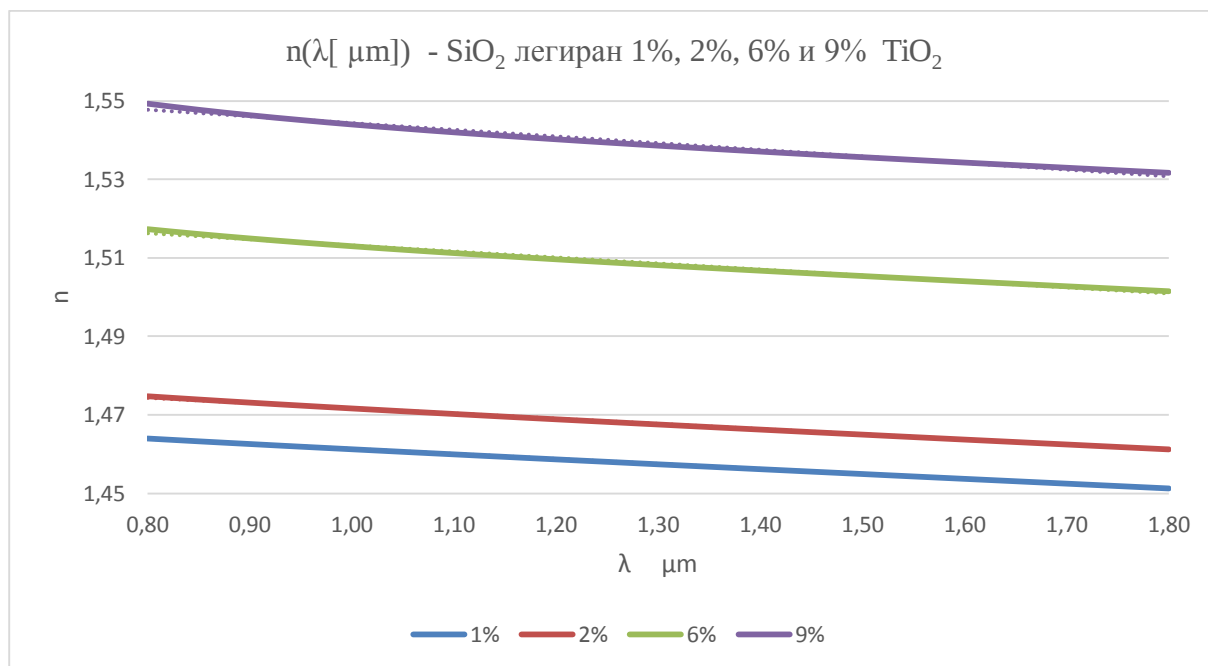
Фиг. 7. Разлика между изчислените по Sellmaieri по формула (4) стойности изразена в % като функция на дължината на вълната за SiO_2 легиран с 13,3% B_2O_3 .



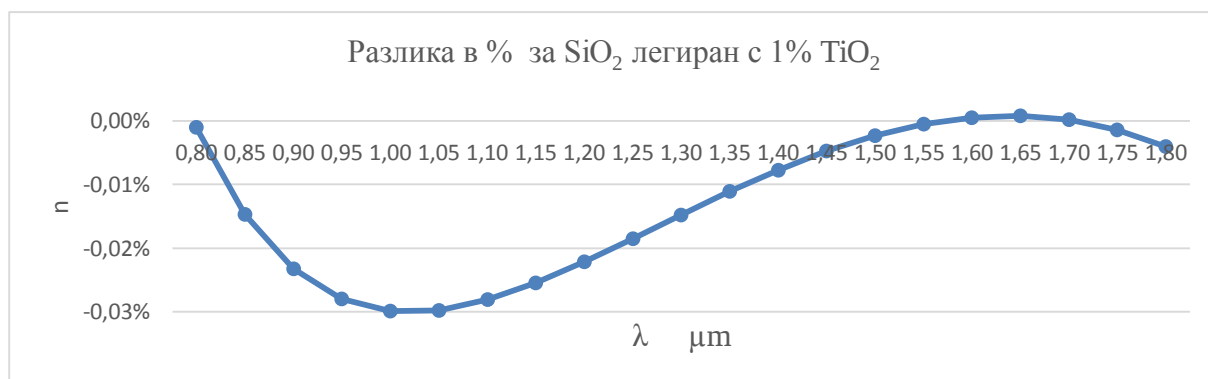
Фиг. 8. Съпоставка на коефициентите на пречупване пресметнати по Sellmaier и по формула (5) за SiO_2 легиран с 1% F.



Фиг. 9. Разлика между изчислените по Sellmaieri по формула (5) стойности изразена в % като функция на дължината на вълната за SiO_2 легиран с 1% F.



Фиг. 10. Съпоставка на коефициентите на пречупване пресметнати по Devore и по формула (6) за SiO_2 легиран с 1%, 2%, 6% и 9% TiO_2 .



Фиг. 11. Разлика между изчислените по Devore и по формула (6) стойности изразена в % като функция на дължината на вълната за SiO_2 легиран с 1% TiO_2 .

IV. Изводи

Направена е модификация на общата формула (1)[1] за пресмятане на коефициента на пречупване на двуконпонентен материал базиран на SiO_2 при легиране с P_2O_5 , B_2O_3 , F имаща следния общ вид:

	A_1	A_2
SiO_2	0	-0,01240
GeO_2	+ 0,15573	-0,01240
P_2O_5	+ 0,16250	-0,01240
B_2O_3	- 0,03250	-0,01400
F	-0,49000	-0,01225
$\lambda_0 = 0.8 \mu\text{m}$, $n_{0\lambda_0} = 1,4533317$		

$$n(\lambda, d_{\%}) = n_{0\lambda_0} + A_1 d_{\%} - A_2 (\lambda - \lambda_0)$$

За TiO_2 е създадена формула (6) на базата на формулата на Devore.

За изследването са осигурени подходящи данни публикувани в [2], [1], [3], [4], [5], [6], [7] и [8] които в последствие са обработени и анализирани.

Открити са подходящи зависимости, на базата на които са създадени обобщени формули за пресмятане на коефициента на пречупване на двукомпонентен материал базиран на SiO_2 и легиран с P_2O_5 , B_2O_3 , F и TiO_2 в подходящ са оптичните влакна за комуникации оптичен диапазон.

Направени са необходимите изчисления и получените резултати са сравнени и тези, изчислени по известните до сега методи.

Анализът на грешките показва, че точността на формулата е достатъчна, както за извършване на ориентировъчни пресмятания в процеса на обучение, така и за практико-приложни цели.

Грешката от изчислението по двата метода не надвишава 0,03% за областите на I-ви II-ри и за III-ти оптичен прозорец.

Получените резултати напълно се покриват с представените в [2], [3], [5], [6] и [8].

Формула (3) до (6) могат да бъде използвана за различни варианти на основния материал SiO_2 (получен при различни технологии), както и за други легиращи материали, след съответно преизчисляване на $step_\lambda$ и $step\%$.

Създадена е предпоставка за лесно пресмятане на дисперсията, груповият коефициент на пречупване $n_{gr}(\lambda)$, групова дисперсия на спектрална лента (GVD), както и за решаване на задачи за определяне на параметри на оптичните влакна, зависещи от $n(\lambda, dp\%)$ при двукомпонентни стъкла базиран на SiO_2 при легирани с P_2O_5 , B_2O_3 , F или TiO_2

References:

- [1]. TOSHKOV, Angel. Calculation of the refractive index based on wavelength and concentration of GeO_2 dopant in silica optical fibers. Hi Tech Journal / Хай Тек, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 82 - 97, dec. 2017. ISSN 2534-9996.
Available at: <http://hitech.agency/hit/index.php/hit/article/view/27>
- [2]. T.L Huynh, L.N Binh, Technical Report MECSE-10-2004, Fibre Design for Dispersion Compensation and Raman Amplification, Monash university, 2004, Available at: https://slideblast.com/department-of-electrical-and-computer-systemsengineering_59bf47eb1723dd350170c0ed.html
- [3]. Тошков А, Анализ на връзките между конструктивните и експлоатационните параметри на оптичните влакна, Варна, 2011г.
- [4]. UQG Optics, UQH Online, Available at: http://www.uqgoptics.com/materials_optical.aspx
- [5]. Optical Materials, A Series of Advances, Volume 1, edited by Solomon Musikant, Trans Con Technologies Inc. Paoli, Pennsylvania, Provost, University of Rochester Rochester, New York, ISBN: 0-8247-8131-7, page 184., Available at: <https://books.google.bg/books?id=SqFKoE7Mx5wC&printsec=frontcover&hl=bg#v=onepage&q&f=false>
- [6]. Bruckner, V., To the use of Sellmeier formula, 2011, X, Softcover ISBN: 978-3-83481302-2, Available at: <http://www.springer.com/978-3-8348-1302-2>, https://www.researchgate.net/publication/262294649_To_the_use_of_Sellmeier_formula,
- [7]. Optical Glass Information, Ohara corporation, <http://oharacorp.com/catalog.html>
- [8]. RefractiveIndex.INFO website: © 2008-2018 Mikhail Polyanskiy, Available at: <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=SiO2&page=Malitson>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Таблица 1. Коефициенти на Sellmeier за различни легиращи материали и концентрации по източник [3].

	SiO ₂	B ₂ O ₃	F	F	F	P ₂ O ₅
	100%	3%	1%	3,1%	6,1%	9,1 %
A ₁	0,696750	0,6935	0,7085	0,6933	0,6774	0,6958
A ₂	0,408218	0,4053	0,3931	0,3972	0,4010	0,4525
A ₃	0,890815	0,9111	0,8503	0,8601	0,8719	0,7125
λ ₁	0,069066	0,0717	0,0500	0,0450	0,0380	0,0616
λ ₂	0,115662	0,12564	0,1290	0,1370	0,1450	0,1199
λ ₃	9,900559	9,89615	9,3886	9,5572	9,7147	8,65664

Таблица 2. Коефициенти на Sellmeier за различни легиращи материали и концентрации по източник [5].

SiO ₂	GeO ₂	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅	A1	λ ₁ ²	A2	λ ₂ ²	A3	λ ₃ ²
100%				0,6961663	0,0046791	0,4079426	0,0135121	0,8974794	97,934002
96,9	3,1			0,7028554	0,0052958	0,4148307	0,0130664	0,897454	97,934
96,5	3,5			0,7042038	0,0026462	0,4160032	0,0166823	0,9074049	97,9339
94,2	5,8			0,7088876	0,0037095	0,4206803	0,0157381	0,8956551	97,93402
92,1	7,9			0,7136824	0,003808952	0,4254807	0,01614969	0,8964226	97,93401
97		3		0,6935408	0,005141195	0,4052977	0,0157853	0,9111432	97,93387
96,5		3,5		0,6929642	0,003658351	0,4047468	0,01536631	0,9154064	97,93383
100%				0,6965325	0,0043683	0,4083099	0,01395	0,8968766	97,93399
93,7	6,3			0,7083952	0,0072905	0,4203993	0,0105029	0,8663412	97,93428
	8,7			0,7133103	0,0069103	0,4250904	0,0116567	0,863198	97,93434
	11,2			0,7186243	0,0058473	0,4301997	0,0163248	0,8543265	97,9344
	15			0,724918	0,0049818	0,438122	0,011624	0,8221368	97,93472
	19,3			0,7347008	0,0052024	0,4461191	0,0155272	0,8081698	97,93353
		5,2		0,6910021	0,004431	0,402243	0,0137566	0,9489644	97,93353
			10,5	0,7058489	0,0052024	0,4176021	0,0128773	0,8952753	97,98401
				A1	λ ₁	A2	λ ₂	A3	λ ₃
100%				0,69675	0,069066	0,408218	0,115662	0,890815	9,900559
95,9	4,1			0,6867175	0,0726752	0,4348151	0,1151435	0,8965658	10,002398
93	7			0,6869829	0,0780876	0,4447951	0,1155184	0,7907351	10,436628
86,5	13,5			0,734544	0,0869769	0,4271083	0,1119519	0,821034	10,84654
86,5		13,5		0,7072462	0,0804781	0,3941262	0,1092579	0,6330193	7,8908063
86,5	13,5			0,71104	0,06427	0,451885	0,129408	0,704048	9,425478
86,7		13,3		0,690618	0,0619	0,401996	0,123662	0,898817	9,09896
86,5		13,5		0,6762683	0,076053	0,4221311	0,1132962	0,5833977	7,8486094

Таблица 3. Коефициенти на Sellmeier за различни легиращи материали и концентрации по източник [6].

	SiO ₂ 100%	9,1 % P ₂ O ₅ + 90,9% SiO ₂	13,3% B ₂ O ₃ + 86,7% SiO ₂	1% F + 99% SiO ₂	100% P ₂ O ₅	100% GeO ₂
A ₁	0,696750	0,695790	0,690618	0,691116	0,91914	0,806866
A ₂	0,408218	0,452497	0,401996	0,399166	0,67072	0,718158
A ₃	0,890815	0,712513	0,898817	0,890423	0,5696	0,854168
λ ₁	0,069066	0,061568	0,061900	0,068227	0,11921	0,068973
λ ₂	0,115662	0,119921	0,123662	0,116460	0,00256	0,153966
λ ₃	9,900559	8,656641	9,098960	9,993707	6,50697	11,8419

Таблица 4 Коефициенти на пречупване пресметнати по Sellmaier (TiO₂ по Devore)

λ[μm]	SiO ₂	100% P _e ₂ O ₅	100% GeO ₂	100% TiO ₂ / Devore
0,80	1,453423	1,613071	1,598366	2,5197452
0,85	1,452576	1,611961	1,596970	2,508603
0,90	1,451809	1,610953	1,595770	2,4995021
0,95	1,451099	1,610020	1,594723	2,4919623
1,00	1,450433	1,609142	1,593796	2,4856392
1,05	1,449799	1,608303	1,592964	2,4802799
1,10	1,449187	1,607492	1,592208	2,4756948
1,15	1,448591	1,606699	1,591513	2,4717394
1,20	1,448005	1,605917	1,590867	2,468302
1,25	1,447424	1,605140	1,590260	2,4652946
1,30	1,446845	1,604362	1,589685	2,4626475
1,35	1,446264	1,603579	1,589136	2,4603048
1,40	1,445680	1,602788	1,588607	2,4582211
1,45	1,445089	1,601985	1,588094	2,4563591
1,50	1,444491	1,601167	1,587593	2,4546881
1,55	1,443883	1,600333	1,587102	2,4531827
1,60	1,443265	1,599480	1,586618	2,4518216
1,65	1,442634	1,598606	1,586138	2,4505866
1,70	1,441991	1,597710	1,585661	2,4494627
1,75	1,441333	1,596789	1,585185	2,4484367
1,80	1,440661	1,595842	1,584709	2,4474975
1,85	1,439973	1,594868	1,584231	2,4466355
1,90	1,439268	1,593864	1,583751	2,4458425
1,95	1,438547	1,592830	1,583267	2,4451113
2,00	1,437808	1,591764	1,582778	2,4444355

Таблица 5 Резултати, пресметнати по формула (3)

λ [μm]	Процент на P_2O_5 9,1% (mole %)	
	9,1% - Sellmaier	9,1% - Изчислен
0,80	1,46857	1,4681185
0,85	1,46772	1,4674985
0,90	1,46695	1,4668785
0,95	1,46624	1,4662585
1,00	1,46557	1,4656385
1,05	1,46493	1,4650185
1,10	1,46432	1,4643985
1,15	1,46371	1,4637785
1,20	1,46312	1,4631585
1,25	1,46254	1,4625385
1,30	1,46195	1,4619185
1,35	1,46136	1,4612985
1,40	1,46077	1,4606785
1,45	1,46017	1,4600585
1,50	1,45956	1,4594385
1,55	1,45894	1,4588185
1,60	1,45831	1,4581985
1,65	1,45767	1,4575785
1,70	1,45701	1,4569585
1,75	1,45634	1,4563385
1,80	1,45565	1,4557185
1,85	1,45495	1,4550985
1,90	1,45422	1,4544785
1,95	1,45348	1,4538585
2,00	1,45272	1,4532385

Таблица 6 Резултати, пресметнати по формула (4)

λ [μm]	Процент на B_2O_3 13,3% (mole %)	
	13,3% - Sellmaier	13,3% - Изчислен
0,80	1,44900	1,4490085
0,85	1,44813	1,4483085
0,90	1,44733	1,4476085
0,95	1,44658	1,4469085
1,00	1,44586	1,4462085
1,05	1,44518	1,4455085
1,10	1,44451	1,4448085
1,15	1,44386	1,4441085

1,20	1,44321	1,4434085
1,25	1,44257	1,4427085
1,30	1,44192	1,4420085
1,35	1,44126	1,4413085
1,40	1,44060	1,4406085
1,45	1,43993	1,4399085
1,50	1,43925	1,4392085
1,55	1,43855	1,4385085
1,60	1,43784	1,4378085
1,65	1,43711	1,4371085
1,70	1,43637	1,4364085
1,75	1,43561	1,4357085
1,80	1,43483	1,4350085
1,85	1,43403	1,4343085
1,90	1,43321	1,4336085
1,95	1,43236	1,4329085
2,00	1,43150	1,4322085

Таблица 7 Резултати, пресметнати по формула (5)

λ [μm]	Процент на F 1% (mole %)	
	1% - Sellmaier	1% - Изчислен
0,80	1,44853	1,448431
0,85	1,44773	1,447819
0,90	1,44699	1,447206
0,95	1,44632	1,446594
1,00	1,44568	1,445981
1,05	1,44508	1,445369
1,10	1,44449	1,444756
1,15	1,44392	1,444144
1,20	1,44336	1,443531
1,25	1,44281	1,442919
1,30	1,44225	1,442306
1,35	1,44170	1,441694
1,40	1,44114	1,441081
1,45	1,44058	1,440469
1,50	1,44000	1,439856
1,55	1,43942	1,439244
1,60	1,43883	1,438631
1,65	1,43823	1,438019
1,70	1,43762	1,437406
1,75	1,43699	1,436794

1,80	1,43635	1,436181
1,85	1,43569	1,435569
1,90	1,43502	1,434956
1,95	1,43433	1,434344
2,00	1,43363	1,433731

Таблица 8 Резултати, пресметнати по формула (6)

λ [μm]	Процент на TiO_2 1%, 2%, 6% и 9% (mole %) - изчислен			
	1,0%	2,0%	6,0%	9,0%
0,80	1,463995	1,474659	1,517316	1,549308
0,85	1,463264	1,473816	1,516027	1,547685
0,90	1,462553	1,473014	1,514861	1,546246
0,95	1,461857	1,472244	1,513789	1,544948
1,00	1,461174	1,471497	1,512789	1,543759
1,05	1,460500	1,470770	1,511848	1,542656
1,10	1,459835	1,470058	1,510953	1,541624
1,15	1,459175	1,469359	1,510096	1,540648
1,20	1,458521	1,468670	1,509269	1,539718
1,25	1,457871	1,467990	1,508469	1,538828
1,30	1,457224	1,467317	1,507690	1,537969
1,35	1,456581	1,466650	1,506929	1,537139
1,40	1,455940	1,465989	1,506184	1,536331
1,45	1,455301	1,465332	1,505453	1,535544
1,50	1,454665	1,464678	1,504732	1,534773
1,55	1,454030	1,464028	1,504022	1,534018
1,60	1,453396	1,463381	1,503320	1,533275
1,65	1,452764	1,462736	1,502626	1,532544
1,70	1,452132	1,462094	1,501939	1,531823
1,75	1,451502	1,461453	1,501257	1,531111
1,80	1,450873	1,460814	1,500581	1,530406