

Національна академія наук України  
Інститут проблем реєстрації інформації  
Ужгородська лабораторія матеріалів оптоелектроніки та фотоніки Інституту  
проблем реєстрації інформації  
Технічний центр  
Ужгородський національний університет

## **Школа-конференція молодих вчених**

**СУЧАСНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО: ФІЗИКА, ХІМІЯ, ТЕХНОЛОГІЇ**  
(СМФХТ – 2021)

**Ужгород Водограй Україна,  
4 - 8 жовтня 2021р.**

**ПРОГРАМА ТА  
МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

ЕЛЕКТРОННА ВЕРСІЯ

**Ужгород  
2021**

УДК 536:669  
ББК 34

РЕДКОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

*Наумовець А.Г.*

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ

*Беспалов С.А., Мальчевський І.А., Поп М.М., Рубіш В.М.*

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

*Крючин А.А. Уваров В.М.*

Друкується за рішенням Оргкомітету СМФХТ–2021 і Вченої ради Інституту проблем реєстрації інформації НАН України

Матеріали Школи-конференції молодих вчених «Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології (СМФХТ – 2021)» – Ужгород: ФОП Сабов А.М., Україна – 320 с.

Матеріали відображають зміст лекцій вітчизняних та європейських науковців у галузі фізики, хімії та технології нових функціональних матеріалів та доповідей конференції за результатами фундаментальних та прикладних науково-дослідних робіт з актуальних питань в області сучасного матеріалознавства за різними напрямками: метали, сплави, кераміка і композиційні матеріали; напівпровідникові, діелектричні, магнітні та склоподібні матеріали; наносистеми, наноматеріали, нанотехнології; розмірні ефекти, самоорганізація і моделювання наноструктур; плівки, покриття і поверхневі наносистеми; біофункціональні наноматеріали, наносистеми в біології та медицині; полімери, супрамолекулярні структури, колоїдні системи, аерогелі; технологія, діагностика та застосування матеріалів різноманітного призначення.

Видання розраховано на наукових працівників, інженерів, викладачів вузів, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

## **Організаційний комітет**

### **Голова:**

Наумовець А.Г. (Київ, Україна)

### **Заступники голови:**

Крючин А.А. (Київ, Україна)

Уваров В.М. (Київ, Україна)

### **Вчений секретар:**

Рубіш В.М. (Ужгород, Україна)

Беляєв О.Є., Беспалов С.А., Бродін М.С., Воєводін В.М., Височанський Ю.М., Картель М.Т., Кладько В.П., Комісаренко С.В., Кошечко В.Г., Кучук-Яценко С.І., Мальчевський І.А., Марченко О.А., Петров В.В., Пехньо В.І., Походенко В.Д., Прокопенко В.А., Рагуля А.В., Чехун В.Ф.

### **Програмний оргкомітет:**

Крючин А.А., Різак В.М., Рубіш В.М., Студеняк І.П., Уваров В.М.

### **Локальний оргкомітет:**

Рубіш В.М., Макар Л.І., Поп М.М., Ясінко Т.І., Коротун А.В.

## ЗМІСТ

<b>ПРОГРАМА .....</b>	<b>9</b>
<b>ЗАПРОШЕНІ ЛЕКЦІЇ.....</b>	<b>22</b>
<b>Нанорозмірні системи: дослідження і розробки в національній академії наук україни .....</b>	<b>23</b>
Наумовець А.Г., Уваров В.М., Мальчевський І.А., Беспалов С.А.	
<b>Мультифероїки фосфорвмісних халькогенідів металів для надшвидких та надшвидких систем обробки інформації .....</b>	<b>32</b>
Ю. Височанський, К. Глухов, В. Гриць, А. Когутич, М. Кундря, В. Любачко, М. Медулич, Ю. Шипош, Р. Євич	
<b>Наноструктура в ієрархії неоднорідностей аморфних речовин.....</b>	<b>34</b>
Іваницький В.П.	
<b>Features of thin film materials for thermoelectricity on the case of PbCdTe ternary system.....</b>	<b>41</b>
Nykyruy L., Naydych B., Chernikova O., Yavorsky R., Tsymbalyuk T., Yavorsky Y.	
<b>Colloids of noble metals: synthesis, characterization, application .....</b>	<b>50</b>
Mukha I., Vityuk N., Eremenko A., Khodko A., Kachalova N., Lyberopoulou A., Katifelis H., Gazouli M., Ohulchansky T., Chepurina O., Chmyrov A., Ntziachristos V., Ludmyla S., Yanish Y., Zaletok S., Malysheva M., Pivovarenko V., Rusinchuk N., Lozovski V.	
<b>Methods for creating nanoscale elements by optical radiation.....</b>	<b>59</b>
Kryuchyn A.A., Petrov V.V., Rubish V.M., Melnik O.G., Kostyukevych S.O.	
<b>Модельні розрахунки дисперсії фононів в концепції над просторової симетрії .....</b>	<b>69</b>
Небола І.І., Катаниця А.Ф., Шкирта І.М., Пал Ю.О., Очкай І.І.	
<b>Модифікування та потенційні застосування нелінійно-оптичних кристалів типу Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>.....</b>	<b>80</b>
Грабар О., Цигика М., Когутич А., Глухов К., Гасинець С.	
<b>Частоти невидимості для шаруватих 0D- і 1D-структур.....</b>	<b>86</b>
Коротун А.В.	
<b>The latest technology of synthesis of materials with special properties.....</b>	<b>96</b>
Zhiguts Yu.Yu.	
<b>Формування функціональних наноматеріалів із застосуванням темплатів.....</b>	<b>109</b>
Барабаш М.Ю., Ховавко О.І., Башинський Я.В., Колесніченко А.А., Сезоненко А.Ю., Литвин Р.В., Биба Є.Г.	
<b>Дослідження факторів, які впливають на спектральні характеристики багатошарових оптичних покриттів при виготовленні.....</b>	<b>120</b>
Міца О. В., Пецко В. І., Варга С. Ф., Копча-Горячкіна Г. Е., Куруца О. С., Сичов М. В., Сорока Д. С.	

<b>УСНІ ДОПОВІДІ .....</b>	<b>126</b>
<b>Ієрархічні цеоліти як перспективні каталізатори процесу одержання карбонатів за реакцією конденсації епоксидів з діоксидом вуглецю .....</b>	<b>127</b>
Курмач М.М., Конишева К.М., Яремов П.С., Швець О.В., Щербань Н.Д.	
<b>Influence of cold plastic deformation on <math>\alpha</math>-Fe recrystallization .....</b>	<b>128</b>
Kavarynskyi V., Verbylo D., Bagluk G.	
<b>Теплові властивості склоподібних матеріалів .....</b>	<b>130</b>
Кривчіков О.	
<b>Antibacterial activity of doped ZnO nanostructures against <i>Escherichia coli</i>..</b>	<b>131</b>
Ievtushenko A., Garmasheva I., Karpyna V., Myroniuk D., Myroniuk L., Kasumov A., Bykov O., Olifan O., Kolomys O., Strelchuk V., Petrosuan L.	
<b>Дослідження пасток ультразвуковими вібраціями в гетероструктурах GaN/AlGaN .....</b>	<b>133</b>
Калюжний В.В., Любченко О.І., Тимочко М.Д., Оліх Я.М., Кладько В.П., Беляєв О.Є.	
<b>Механічні властивості нелінійно-оптичних монокристалів GaSe:Cr .....</b>	<b>135</b>
Капустник О.К., Терзін І.С., Софронов Д.С., Коваленко Н.О., Притула І.М., Дубіна Н.Г.	
<b>Нанозондова діагностика просторового розподілу електронних властивостей секторів росту монокристалів НРНТ-алмазу типу ІІв.....</b>	<b>136</b>
Малюта С.В., Литвин П.М., Стубров Ю.Ю., Ніколенко А.С., Стрельчук В.В., Коваленко Т.В., Івахненко С.О.	
<b>Наноструктуровані біоматеріали на основі йодиду хітозану з біологічно активними барвниками .....</b>	<b>138</b>
Трофименко Я.В., Калінкевич О.В., Голубнича В.М., Скляр А.М., Калінкевич О.М., Данильченко С.М.	
<b>Вплив точкових дефектів на фізичні властивості халькогенідних напівпровідників .....</b>	<b>140</b>
Яцинюк Т., Мельничук К., Галян В.	
<b>PbSnTe-based thin-film structures for thermoelectric applications.....</b>	<b>142</b>
Naidych B., Parashchuk T., Yavorsky Y., Yavorsky R., Kostyuk O.	
<b>How the size, stabilizer and concentration of Ag nanoparticles influence on their antiviral and antimicrobial properties? .....</b>	<b>144</b>
Rusinchuk N., Lozovski V., Lysenko V., Mukha Iu., Vityuk N., Bilyavska L., Naumenko K., Zahorodnia S.	
<b>Встановлення відмінностей характеристик зразків, отриманих за технологією інжекційного лиття порошків .....</b>	<b>146</b>
Соловійова Т.О., Завадюк С.В., Штофель О.О., Троснікова І.Ю., Лобода П.І., Карасєвська О.П.	
<b>The rise of 2D Indium Selenide: a novel van der Waals material for electronics and optoelectronics .....</b>	<b>148</b>
Kudrynskyi Z. R., Kovalyuk Z. D., Patané A.	

<b>Вплив ізовалентного заміщення на механічні властивості суперіонних кристалів <math>(\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x)_7\text{SiS}_5\text{I}</math> та керамік на їх основі .....</b>	<b>149</b>
Скубенич К.В., Коровська Д.М., Беспалов В.В., Біланич В.С.	
<b>Тепловий стан комірки високого тиску при кристалізації GaN .....</b>	<b>151</b>
Людвіченко О. П., Гордєєв С. О., Лещук О. О., Петруша І. А.	
<b>Побудова діаграм Пурбе для системи Fe-Cr-Al.....</b>	<b>153</b>
Поліщук А.Ю., Кульментьєв О.І.	
<b>Раманівські дослідження модифікованих парами ртуті полікристалічних плівок телуру .....</b>	<b>155</b>
Грещук О.М., Юхимчук В.О., Ясінко Т.І., Пісак Р.П., Рубіш В.М., Беспалов С.А., Уваров В.М., Миськів П.М., Юркін І.М.,	
<b>Вплив температури на процеси формування ПРГ в аморфних плівках селену в умовах поляризаційного запису .....</b>	<b>158</b>
Трунов М.Л., Кириленко В.К., Федорців В.В., Заяць Т.М., Дуркот М.О., Тарнай А.А.	
<b>Rapid formation methods of arrays of randomly distributed Au and Ag nanoparticles, their morphologies and optical characteristics .....</b>	<b>160</b>
Rubish V.M., Kyrylenko V.K., Durkot M.O., Makar L.I., Tarnaj A.A., Trunov M.L., Yasinko T.I., Matyashov A.I., Yurkin I.M.	
<b>Методика розрахунку складу екзотермічних шихт.....</b>	<b>161</b>
Жигуц Ю.Ю., Павлюк М.М.	
<b>Високовольфрамкові карбідосталі синтезовані свс і металотермією.....</b>	<b>163</b>
Жигуц Ю.Ю., Легета Я.П., Бугір М.С.	
<b>Combined technology of synthesis materials with special properties .....</b>	<b>165</b>
Zhiguts Yu., Lazar V., Kupec F.	
<b>Influence of <math>\text{Si}^{4+}</math>, <math>\text{Mg}^{2+}</math> additives on the structure and properties of YAG transparent ceramics.....</b>	<b>167</b>
Vorona I., Yavetskiy R., Parkhomenko S., Doroshenko A., Kryzhanovska O., Safronova N.	
<b>Вплив органічних модифікаторів росту на патогенез кристалів кальцію оксалату моногідрату.....</b>	<b>169</b>
Таранець Ю.В., Притула І.М., Безкровна О.М.	
<b>Influence of asymmetric donors on molecular structure-property relationships of the compound containing 4,6-bis(4-chlorophenyl)-2-phenylpyrimidine as acceptor .....</b>	<b>172</b>
Starykov H., Simokaitiene J., Grazulevicius J. V.	
<b>Variation of the nc composition and stoichiometry in colloidal <math>\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x}\text{ZnSnS}_4</math> nanocrystals.....</b>	<b>175</b>
Mazur N., Dzhagan V., Havryliuk Ye., Kapush O., Yukhymchuk V., Selyshchev O., Raievska O., Zahn D. R.T.	
<b>Фазово-структурні трансформації шаруватих структур <math>\text{VO}_x</math> .....</b>	<b>176</b>
Кладько В.П., Мельник В.П., Любченко О. І., Романюк Б.М., Гудименко О.Й., Сабов Т.М., Дубіковський О.В., Максименко З.В., Косуля О.В., Єфремов О.О., Кульбачинський О.А.	

<b>Механізми розсіювання в кристалах халькогенідів свинцю <i>p</i>-типу провідності .....</b>	<b>180</b>
Ворона А., Нижникевич В.	
<b>Математичне моделювання поверхні солідуса чотирикомпонентної сполуки PbSnTeSe.....</b>	<b>182</b>
Сідак В., Лучицький Р.	
<b>Інтерполяційний метод прогнозування значення різних параметрів чотирикомпонентних твердих розчинів PbSnTeSe і CdHgTeSe.....</b>	<b>184</b>
Войтичук О., Лучицький Р.	
<b>Дослідження процесів кристалізації аморфних плівок селену нанометрової товщини SERS-методом .....</b>	<b>185</b>
Дуркот М.О., Макар Л.І., Гат'ян М.А., Грещук О.М., Поп М.М., Юхимчук В.О., Заяць Т.М., Рубіш В.М.	
<b>Дослідження модифікованих парами ртуті плівок телуру методом X-променевої дифрактометрії.....</b>	<b>189</b>
Пісак Р.П., Соломон А.М., Молнар М.В., Гасинець С.М., Беспалов С.А., Уваров В.М., Дуркот М.О., Ясінко Т.І., Спесивих О.О.	
<b>Електричні властивості аморфних плівок селену, модифікованих парами ртуті.....</b>	<b>188</b>
Рубіш В.М., Макар Л.І., Кириленко В.К., Никируй Л.І., Запужляк Ж.Р., Попович Б.В., Різак Г.В., Спесивих О.О.	
<b>Дослідження динаміки зміни параметрів 17-шарового вузькосмугового фільтра при падінні світла під кутом.....</b>	<b>190</b>
Рябошук О. М.	
<b>Дослідження динаміки зміни параметрів 17-шарового широкосмугового фільтра при падінні світла під кутом.....</b>	<b>193</b>
Шапочка А. І.	
<b>Дослідження динаміки зміни параметрів 17-шарового відрізаючого фільтра при падінні світла під кутом .....</b>	<b>196</b>
Товтин М. М.	
<b>СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ.....</b>	<b>199</b>
<b>Структура і газочутливі властивості диоксиду олова з наночастинками золота .....</b>	<b>200</b>
Бабіля М.І. Пилип П.П., Григоревський С.В., Могилюк І.М.	
<b>Калікс[4]аренхалконамід С-1011 зменшує виживаність клітин аденокарциноми молочної залози миші .....</b>	<b>201</b>
Бавельська А.О., Бабіч Л.Г., Шликов С.Г., Єсипенко О.А., Горак І.Р., Дробот Л.Б., Костерін С.О.	
<b>Вплив пористості на акустичні властивості природніх цеолітів.....</b>	<b>203</b>
Білак Д.В., Феделеш В.І.	
<b>Fabrication of security elements holograms on the chalcogenide films surface by electron lithography .....</b>	<b>205</b>
Bilanych V.V., Shylenko O.I.	

<b>Relaxation processes in chalcogenide films during their irradiated with an electron beam of a scanning electron microscope .....</b>	<b>207</b>
Bilanych V.V., Shylenko O.I.	
<b>Scanning shot-noise spectroscopy of robust edge currents in topological materials .....</b>	<b>209</b>
Boliashova O., Zhitlukhina E., Seidel P.	
<b>Дослідження модифікованих ртуттю аморфних плівок Se методом раманівської спектроскопії .....</b>	<b>211</b>
Грещук О.М., Юхимчук В.О., Макар Л.І., Рубіш В.М., Поп М.М., Ясінко Т.І., Бендзо Ю.В., Заяць Т.М.	
<b>Optical signals registration unit for fiber optic temperature sensor .....</b>	<b>214</b>
Chychura Ig.I., Kutchak S.V., Chychura Iv.I., Oseafiana S.C.	
<b>Раманівське і ІЧ-Фур'є просторове картографування секторального розподілу легуючої домішки бору в напівпровідникових алмазах р-типу</b>	<b>216</b>
Даниленко І.М., Ніколенко А.С., Стрельчук В.В., Стубров Ю.Ю., Івахненко С.О., Коваленко Т.В.	
<b>Застосування природного полімеру як інгібітора корозії .....</b>	<b>219</b>
Даниляк М.-О. М., Максимшко Ю. Я., Зінь І.М., Корній С.А.	
<b>Nanocomposites of poly(2-aminothiazole) with graphene oxide and multiwalled carbon nanotubes.....</b>	<b>220</b>
Dubenska L.	
<b>Вплив домішки Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на електричні властивості оксидно-олов'яних варисторів .....</b>	<b>222</b>
Гапонов О.В., Швець М.С.	
<b>The structural and electronic properties of CuInP<sub>2</sub>S<sub>6</sub>/CuInP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> heterostructures. <i>Ab initio</i> study .....</b>	<b>224</b>
Glukhov K.E., Babuka T.Ya., Yankovych E.E., Vysochanskii Yu.M.	
<b>Осадження плівок нікелю з частково іонізованого потоку пари твердофазного матеріалу .....</b>	<b>225</b>
Гладковський В.В., Костін Є. Г., Федорович О.А., Гладковська О.В.	
<b>Thermal conductivity of complex crystals: current state of problem .....</b>	<b>227</b>
Horbatenko Yu.V., Krivchikov A.I.	
<b>Hybrid nanostructures based on polyarenes doped with carbon clusters.....</b>	<b>228</b>
Horbenko Yu. Yu., Olenych I. B., Aksimientyeva O. I., Starykov H. O., Konopelnyk O. I.	
<b>Композити основних металів з ієрархічними цеолітами – каталізатори процесів одержання 2-амінотіофенів за Гевальдом .....</b>	<b>230</b>
Курмач М.М., Конишева К.М., Яремов П.С., Швець О.В.	
<b>Діелектрична функція композиту з ахіральними одностінними вуглецевими нанотрубками .....</b>	<b>231</b>
Карандась Я.В., Коротун А.В., Тітов І.М.	



<b><i>Ab initio</i> simulation of electron and optical properties of layered CdPS<sub>3</sub> crystal in the different phases .....</b>	<b>234</b>
Kharkhalis L.Yu., Kryzyna M.S., Horvat P.P., Glukhov K.E.	
<b>Протикорозійна ефективність іонообмінних пігментів на основі нанопористого цеоліту.....</b>	<b>235</b>
Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Головчук М.Я.	
<b>Розрахунок та візуалізація матриць пружних параметрів суперіонних провідників сімейства аргіродиту.....</b>	<b>237</b>
Кіш Є.В., Огняник І.І., Петрушка Р.Р., Феделеш В.І.	
<b>Web application for nanoparticles properties analysis .....</b>	<b>239</b>
Koidan A., Rusinchuk N.	
<b>Отримання 3D-об'єктів з композиційних матеріалів на основі алюмінію методом газодинамічного напилення низького тиску.....</b>	<b>241</b>
Кондауров О.В., Бевз В.П.	
<b>Мікротвердість Ge-вмісних суперіонних кристалів зі структурою аргіродиту та кераміки на їх основі.....</b>	<b>242</b>
Коровська Д.М., Драчевський А.А., Дитяткін О.Р.	
<b>Нові металокерамічні резистивні матеріали для функціональних покриттів плівкових нагрівних елементів високої ефективності .....</b>	<b>243</b>
Ковбасюк Т.М., Ваврух В.І., Климків О.І.	
<b>Визначення середнього діаметру наностриженів Манган (IV) оксиду різного походження в програмному середовищі ImagJ та SciDAVi.....</b>	<b>245</b>
Ковінчук І.В., Сокольський Г.В., Гаюк Н.В.	
<b>Model of a system of nanostructured plates covered by a magnetically sensitive coating.....</b>	<b>247</b>
Kovtunovych V. <sup>1</sup>	
<b>Solar panels. Application and future prospects .....</b>	<b>248</b>
Kulai V.V., Mahnovskyi M.K., Mazur T.M.	
<b>Поверхнєве деформаційно-дифузійне оброблення титанового сплаву VT22 .....</b>	<b>250</b>
Лавриць С.М.	
<b>Лазерне поверхнєве зміцнення металевих виробів за способом підтримання постійної температури.....</b>	<b>251</b>
Лесик Д.А., Мартінез С., Джемелінський В.В., Ламікіз А.	
<b>Синтез та оптичні характеристики квантових точок Ag–Ga–S .....</b>	<b>253</b>
Лопушанська Б.В., Погодін А. І., Лопушанський В.В.	
<b>Спектри пропускання відпалених нанорозмірних плівок золота з клиновидним розподілом товщини .....</b>	<b>255</b>
Тарнай А.А., Кириленко В.К., Трунов М.Л., Пісак Р.П., Поп М.М., Морозов О.Ю., Лукша О.В.	
<b>Scattering of charge carriers in polycrystalline films of lead telluride.....</b>	<b>258</b>
Mazur T.M., Mazur M.-Yu.M.	

<b>Design and characterization of substrates for surface-enhancement Raman spectroscopy .....</b>	<b>260</b>
Mazur N.V., Isaeva O.F., Hreshchuk O.M., Rubish V.M., Dzhagan V.M., Yukhymchuk V.O.	
<b>Перспективи трекерних систем для нанотехнологічних сонячних панелей .....</b>	<b>261</b>
Мешко Р.О., Джуган А.І., Тудовші Б.В.	
<b>Діелектрична спектроскопія свіжесинтезованого і зістареного склоподібного селену .....</b>	<b>263</b>
Мінькович В., Горват А.	
<b>Dielectric properties of 80%CuInP<sub>2</sub>S<sub>6</sub>-20%CuGaP<sub>2</sub>S<sub>6</sub> solid solution.....</b>	<b>265</b>
Ban H., Gal D., Haysak A., Molnar A.	
<b>Нелінійно-оптичні застосування халькогенідних кристалів .....</b>	<b>267</b>
Нигматулліна О., Мельничук Т., Іванюк Д., Куршель Д.	
<b>Гібридний підхід до створення сплавів системи Ti-Zr-Nb.....</b>	<b>269</b>
Оришич Д. В., Саввакін Д. Г., Стасюк О. О., Дехтяренко В. А.	
<b>Формування електропровідних композиційних металевих покриттів методом газодинамічного напилення для створення та відновлення контактних поверхонь.....</b>	<b>271</b>
Пакула Д.Л., Бевз В.П.	
<b>Plasmonic bandgap for electromagnetic waves at the border of a metal-dielectric composite and air.....</b>	<b>272</b>
Pavlyshche N.I., Korotun A.V., Rubish V.M.	
<b>Electrical properties of single crystals of Ag<sub>6.5</sub>P<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub>S<sub>5</sub>I solid solution .....</b>	<b>275</b>
Pogodin A.I., Filep M.Y., Shender I.O., Malakhovska T.O., Kokhan O.P., Studenyak I.P.	
<b>Удосконалення методу хіллєрта на розрахунок активностей компонентів потрійних систем .....</b>	<b>276</b>
Жигуц Ю.Ю., Крайняй І.І., Почіль М.М.	
<b>Вплив міжфазної взаємодії на діелектричну функцію сферичної металевої наночастинки, вкритої шаром адсорбованих молекул .....</b>	<b>278</b>
Рева В.І., Смирнова Н.А., Коротун А.В., Тітов І.М.	
<b>Structural properties of (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>x</sub>(GeS<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub> (0&lt;x&lt;1) chalcogenide alloys .....</b>	<b>282</b>
Revutska L., Stronski A., Kavetskyu T., Shportko K., Kaban I., Jovári P., Popovych M.	
<b>Живі лабораторії в теорії і практиці нанотехнологій для енергетики та електроніки.....</b>	<b>284</b>
Рябошук М.М., Акімов Є.А.	
<b>Нелінійно-оптичні властивості монокристалу AgGaGeSe<sub>8</sub> : Lu .....</b>	<b>285</b>
Рижук А., Понедельнік С., Мирончук Д., Шигорін О.	
<b>Дослідження взаємодії комплексів на основі хлорин еб.....</b>	<b>287</b>
<b>з модельними мембранами .....</b>	<b>287</b>
Самойлов О.М., Ящук В. М., Навозенко О. М., Лосицький М. Ю., Подуст Г. П., Гринь Д. В., Дегода В. Я., Касян, Н. О., Лисецький Л. М.	

## Дослідження факторів, які впливають на спектральні характеристики багатошарових оптичних покриттів при виготовленні

**Міца О. В.**, Пецко В. І., Варга С. Ф., Копча-Горячкіна Г. Е., Куруца О. С., Сичов М. В., Сорока Д. С.

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
м. Ужгород, Закарпатська область, Україна*

При розробці моделей для багатошарових оптичних систем виникає необхідність враховувати фактори, які невід’ємно пов’язані з їх виготовленням. Це часткова неоднорідність на межах розділу [1-3], дисперсія показника заломлення [4], мас-транспорт [5-6], нанодфекти [7-8] та оксидація [9]. Без врахування цих факторів (рис. 1) та врахування стійкості до технологічних похибок неможливо проектувати та розробляти оптимальні моделі оптичного шаруватого покриття, які повинні задовольняти наперед задані характеристики.

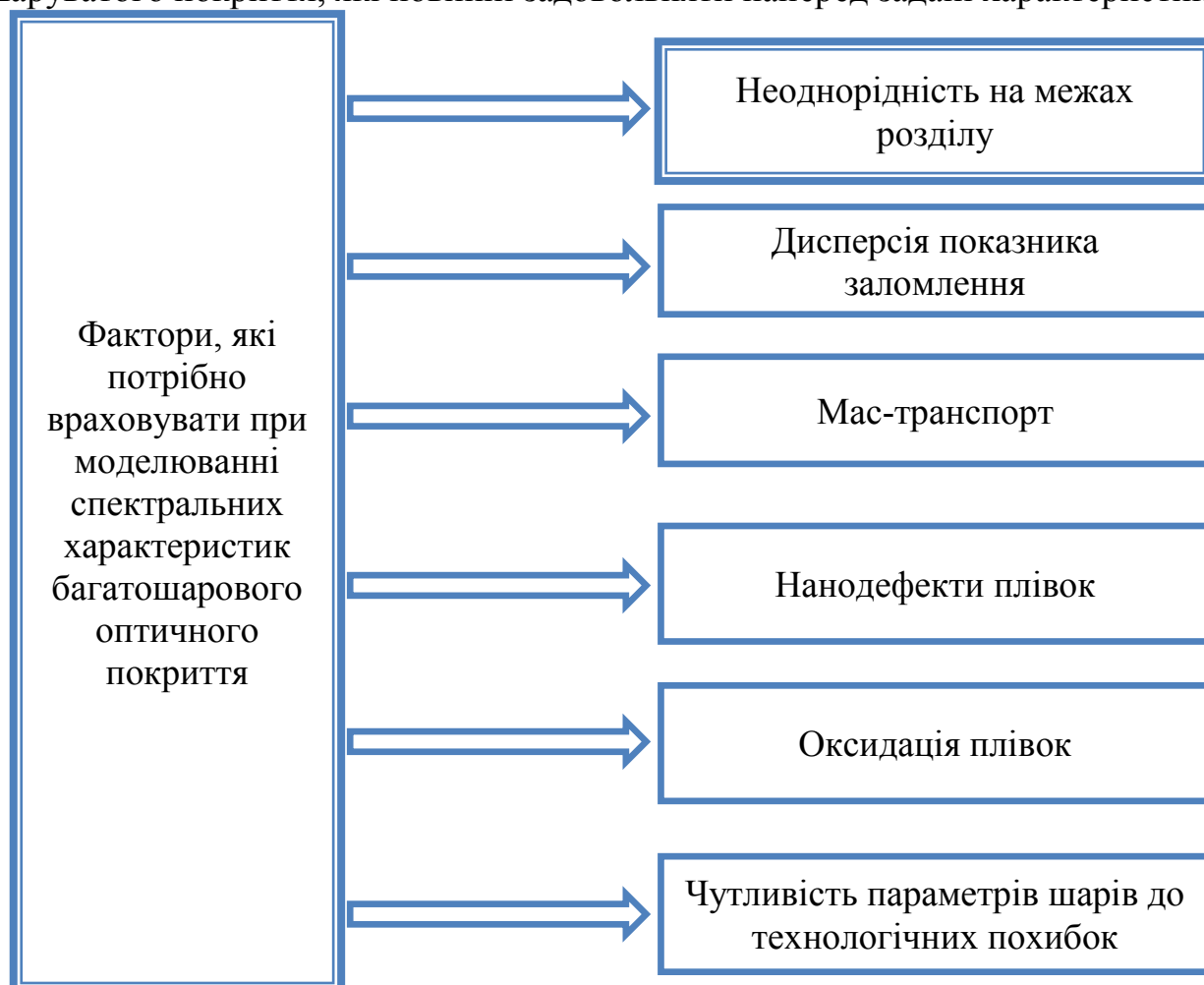


Рисунок 1. Фактори, які потрібно враховувати при побудові математичної моделі оптичного шаруватого покриття

Найчастіше при моделюванні спектральних характеристик багатошарових оптичних покриттів потрібно враховувати неоднорідність на

межах розділу [10-20]. Усіх їх можна поєднати в одну універсальну модель багатошарової оптичної структури, що має неоднорідності на межах розділу (рис. 2). Математичний апарат, необхідний для проведення моделювання спектральних характеристик, наведемо для кожної моделі окремо.

Оптичні товщини багатошарових оптичних систем прив'язані до довжини хвилі  $\lambda_0$ . Наприклад, “четвертьхвильовий шар” означає, що цей шар має оптичну товщину  $nd = \frac{\lambda_0}{4}$ , а “напівхвильовий шар” – має оптичну товщину

$$nd = \frac{\lambda_0}{2}.$$

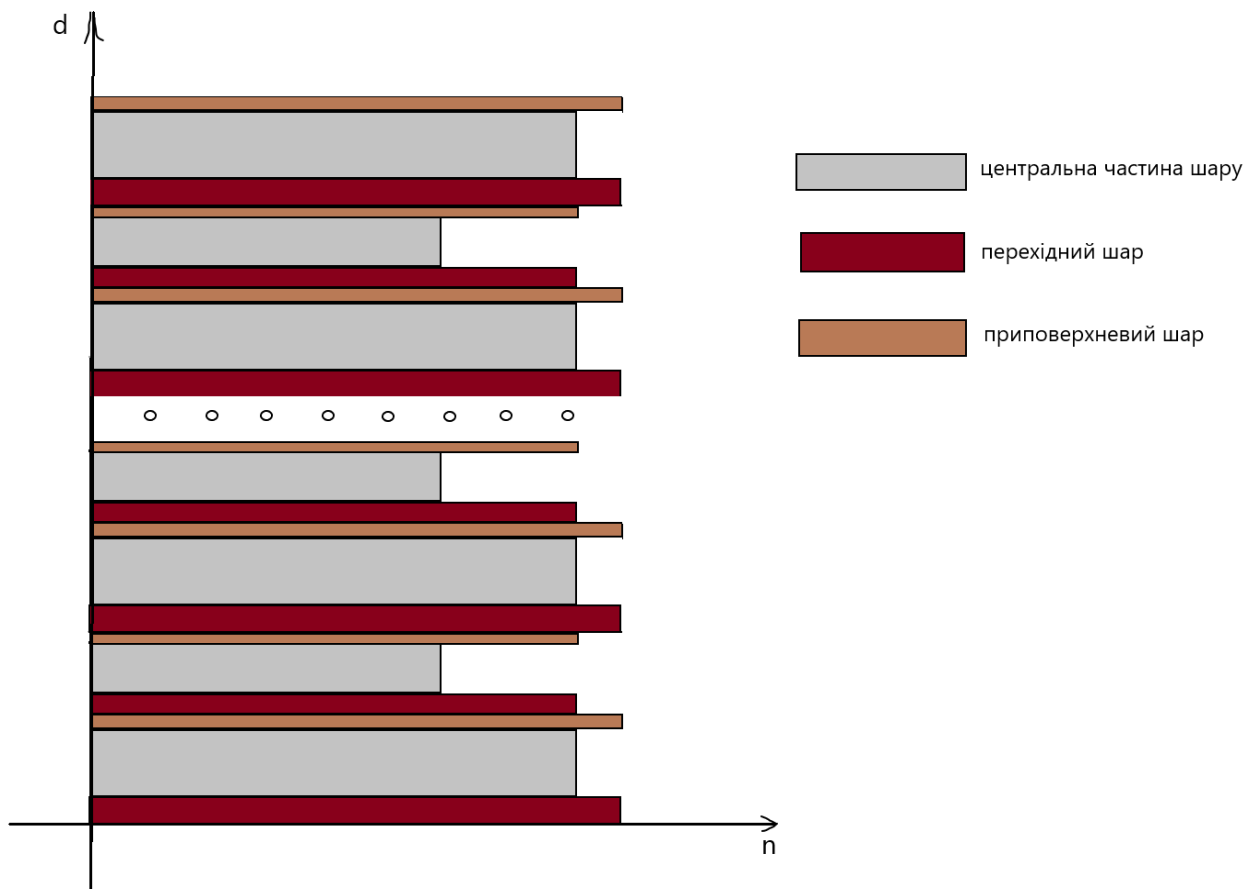


Рисунок 2. Універсальна модель багатошарової оптичної структури, що має неоднорідності на межах розділу

Будемо моделювати неоднорідну область розбиття її на рівні за товщиною зони (табл. 1). Уведемо позначення:  $mv$ ,  $mp$  – кількість зон розбиття приповерхневої та перехідної областей відповідно;  $nf$  – показник заломлення центральної частини плівки. У приповерхневій області показник заломлення буде змінюватись від  $nf$  до  $nv$ , а в перехідній області – від  $nf$  до  $np$  за певним законом розподілу.

Таблиця 1

Розглянуті розподіли показників заломлення неоднорідних областей

Розподіли	Показник заломлення $j$ -ої зони перехідної області, $np_j$	Показник заломлення $j$ -ої зони приповерхневої області, $nv_j$
Ступінчастий	$np$	$nv$
Лінійний	$nf + \frac{np - nf}{mp - 1} (j - 1)$	$nv - \frac{nv - nf}{mv - 1} (j - 1)$
Квадратичний	$nf + \frac{np - nf}{(mp - 1)^2} (j - 1)^2$	$nv - \frac{nv - nf}{(mv - 1)^2} (j - 1)^2$
Логарифмічний	$nf + \frac{np - nf}{\ln(mp)} \ln(j)$	$nv - \frac{nv - nf}{\ln(mv)} \ln(j)$
Експоненціальний	$nf + \frac{np - nf}{e^{mp-1} - 1} (e^{j-1} - 1)$	$nv - \frac{nv - nf}{e^{mv-1} - 1} (e^{j-1} - 1)$

Промодельємо вплив неоднорідності на межах розділу на спектральні характеристики вузькосмугових фільтрів, які мають частково неоднорідний низькозаломлюючий шар. Візьмемо як високозаломлюючий матеріал GeTe, він має показник заломлення, рівний 5. Як низькозаломлюючий матеріал візьмемо GeS<sub>2</sub>, який має показник заломлення, рівний 2.1. У підрозділі розглядається, що матеріал GeS<sub>2</sub> має перехідну область з показником заломлення 2.6 та геометричною товщиною 30 нм. Обчислювальний експеримент проведено для різних робочих довжин хвиль.

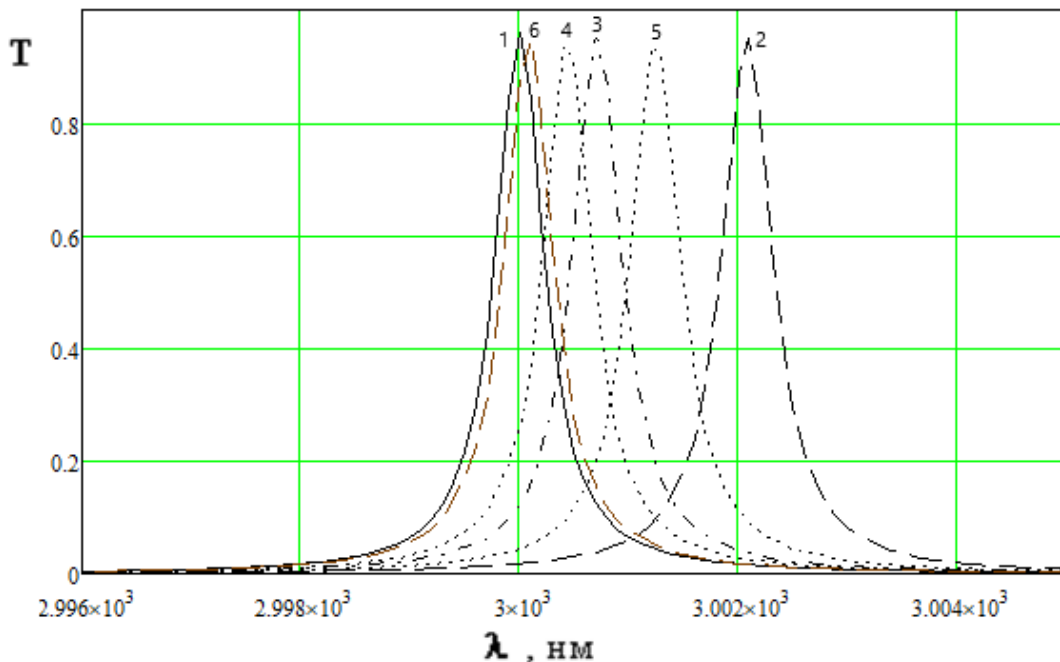


Рисунок 3. Спектральні характеристики 17-шарового вузькосмугового оптичного фільтра типу S-BNB..2B..BNB ( $\lambda_0=3000$  нм) за наявності перехідної області низькозаломлюючого шару з різними розподілами показника заломлення: 1 – ідеальний випадок; 2 – зі ступінчастим; 3 – з лінійним; 4 – з квадратичним; 5 – з логарифмічним; 6 – з експоненціальним.

Проводячи моделювання, можна звернути увагу на такі особливості. Збільшення кількості шарів вузькосмугового фільтра не призводить до збільшення коефіцієнта пропускання  $T_{\max}$ . З іншого боку, напівширина пропускання  $\Delta\lambda_{0.5}$  та ширина смуги  $\Delta\lambda_{0.1}$  суттєво менші у 25-шарових вузькосмугових фільтрів, ніж у 17-шарових, – як при робочій довжині хвилі  $\lambda_0=3000$  нм, так і при робочій довжині хвилі  $\lambda_0=5000$  нм. Наявність неоднорідної перехідної області зумовлює зсув положення довжини хвилі при максимумі пропускання  $\lambda_{\max}$  в сторону довгих хвиль. При цьому збільшується напівширина пропускання  $\Delta\lambda_{0.5}$  та ширина смуги  $\Delta\lambda_{0.1}$ .

Найбільше впливає на розглядувані характеристики вузькосмугових фільтрів ступінчастий, далі йдуть логарифмічний, лінійний, квадратичний та експоненціальний розподіли показника заломлення перехідної області низькозаломлюючого шару (рис. 3). Якщо розглядати розподіли показника заломлення за середнім значенням показника заломлення, то, виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що розглядувані розподіли збільшують відхилення від ідеального випадку, з ростом середнього значення.

Середнє значення показника заломлення перехідної області з розподілом показника заломлення  $n_p(z)$  буде рівним

$$n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} n_p(z) dz.$$

Для кожного розподілу знайдемо його у числовому вигляді:

– ступінчастий:  $n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} n_p dz = \frac{1}{30} \cdot \int_0^{30} 2.6 dz = 2.6;$

– лінійний:

$$n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} \left( n_f + \frac{z}{d_p} \cdot (n_p - n_f) \right) dz = \frac{1}{30} \cdot \int_0^{30} \left( 2.1 + \frac{z}{30} \cdot (2.6 - 2.1) \right) dz = 2.35;$$

– квадратичний:

$$n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} \left( n_f + \frac{z^2}{d_p^2} \cdot (n_p - n_f) \right) dz = \frac{1}{30} \cdot \int_0^{30} \left( 2.1 + \frac{z^2}{30^2} \cdot (2.6 - 2.1) \right) dz = 2.27;$$

– логарифмічний:

$$n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} \left( n_f + \frac{\ln(z)}{\ln(30)} \cdot (n_p - n_f) \right) dz = \frac{1}{30} \cdot \int_0^{30} \left( 2.1 + \frac{\ln(z)}{\ln(30)} \cdot (2.6 - 2.1) \right) dz = 2.45;$$

– експоненціальний:

$$n_{sp} = \frac{1}{d_p} \cdot \int_0^{d_p} \left( n_f + \frac{e^z}{e^{d_p}} \cdot (n_p - n_f) \right) dz = \frac{1}{30} \cdot \int_0^{30} \left( 2.1 + \frac{e^z}{e^{30}} \cdot (2.6 - 2.1) \right) dz = 2.12.$$

Отже, за величиною середнього значення показника заломлення перехідної області типи розподілів показника заломлення розміщуються в такому порядку: ступінчастий, логарифмічний, лінійний, квадратичний та

експоненціальний. Тобто в тому порядку, у якому вони впливають на відхилення довжини хвилі  $\lambda_{\max}$ , напівширини пропускання  $\Delta\lambda_{0.5}$  та ширини смуги  $\Delta\lambda_{0.1}$  від ідеального випадку. Це саме правило поширюється і на відрізаючі та широкосмугові оптичні фільтри. Досліджено, що неоднорідна перехідна область у низькозаломлюючому шарі вузькосмугового фільтра зсуває положення довжини хвилі при максимумі пропускання  $\lambda_{\max}$  в сторону довгих хвиль, при цьому збільшується напівширина пропускання  $\Delta\lambda_{0.5}$  та ширина смуги  $\Delta\lambda_{0.1}$ , значення максимуму пропускання  $T_{\max}$  залишається незмінним. У відрізаючому фільтрі наявність неоднорідностей на межах розділу між шарами зменшує діапазон відбивання. У широкосмугових фільтрах наявність неоднорідностей на межах розділу збільшує значення ширин смуг  $\Delta\lambda_{0.5}$  та  $\Delta\lambda_{0.1}$ , а значення середини діапазону пропускання  $\lambda_{\text{ср}}$  зсуває у довгохвильову спектральну область.

Будь-яке нове дослідження з моделювання неоднорідностей в оптичних структурах мотивується новими застосуваннями розроблених математичних моделей. Тому ще одним стимулом до врахування приповерхневих та перехідних областей між шарами оптичних шаруватих структур є розширення спектральної області їх застосування в бік коротких довжин хвиль, де, як відомо, вплив неоднорідності між шарами різко зростає, як і впливає дисперсія показника заломлення шарів. Таке спектральне розширення пов'язано, зокрема, з планованим переходом лазерної літографії в область вакуумного ультрафіолету, що в свою чергу, дозволить перейти в найближчі роки ще до більш компактних нанотехнологій в наноелектроніці.

1. Mitsa A., Mitsa V., Ugrin A. Mathematical modeling of spectral characteristics of optical coatings with slightly inhomogeneous chalcogenide films. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. Vol. 7, No. 2, 2005. P.955-962.
2. Mitsa A.V., Fekeshgazy I.V., Ugrin A.V. Optical coatings based on non-crystalline films with transition substrate-film layers: sims and auger profiles. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. Vol. 7, № 4, 2005. P.1807–1812.
3. Mitsa A., Mitsa V., Ugrin A., Modelling of spectral characteristics on inhomogeneous (gradient) antireflective coatings based on chalcogenide glasses J. *Chalcogenide Letters*. Vol.2.No1, 2005. P.5-7.
4. Міца О.В., Фекешгазі І.В. Математичне моделювання впливу дисперсії на спектральні характеристики оптичних фільтрів на прикладі одного з матеріалів. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. №2. Том 10. Тернопіль, 2005. С. 152-156.
5. Kryuchyn A.A., Petrov V.V., Rubish V.M., Trunov M.L., Lytvyn P.M. and Kostyukevich S.A. Formation of Nanoscale Structures on Chalcogenide Films. *Phys. Status Solidi B*. 2018. 255(6), 1700405.
6. Benjamin J. Eggleton, Barry Luther-Davies & Kathleen Richardson Chalcogenide photonics. *Nature Photonics*. 2011. Vol. 5. P. 141–148.
7. Fekeshgazy I.V., Barna P., Kikineshi O.E., Mitsa O.V., Sidenko T.S. Influence of nanodefects on the light transmission by multilayer interference systems. *Proceedings of the Third International Scientific Conference “Physical and chemical principles of formation and modification of micro- and nanostructures”*. 21-23 October 2009. Kharkov. P. 190-192.



8. Fekeshgazi, I. V., Sidenko, T. S., Mitsa, O. V., Barna, P., Kikineshi, O. E. Effects of layer nanodefects on the light transmission by optical elements with multilayer interference coatings. *Ukrainian Journal of Physics*, 56(11), 2011, P. 1165-1170.
9. Міца О., Мартон А., Петков К. Моделювання впливу процесів окисації поверхні плівок на спектральні характеристики інтерференційних фільтрів. Міжнародна школа-семинар “Теорія прийняття рішень”. Ужгород, 2008. С. 88.
10. Ganguly R., Roy I., Banerjee A., Singh H., Ghosal A., Raychaudhuri P. Magnetic field induced emergent inhomogeneity in a superconducting film with weak and homogeneous disorder. *Physical Review B*, 96(5), 2017, P. 054509.
11. Gershon T., Hamann C., Hopstaken M., Lee Y.S., Shin B., Haight R. Chemical Consequences of Alkali Inhomogeneity in Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Thin-Film Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 5(19), 2015, P. 1500922.
12. Wu X., Lai F., Lin L., Lv J., Zhuang B., Yan Q., Huang Z. Optical inhomogeneity of ZnS films deposited by thermal evaporation. *Applied Surface Science*, 254(20), 2008, P. 6455-6460.
13. Misra S., Aguiar J.A., Sun Y., v. Devener B., Palekis V., Ferekides C.S., Scarpulla M. A. Observation and Implications of Composition Inhomogeneity Along Grain Boundaries in Thin Film Polycrystalline CdTe Photovoltaic Devices. *Advanced Materials Interfaces*, 6(16), 2019, P. 1900152.
14. El-Hajje G., Ory D., Guillemoles J. F., Lombez L. On the origin of the spatial inhomogeneity of photoluminescence in thin-film CIGS solar devices. *Applied Physics Letters*, 109(2), 2016, P. 022104.
15. Wu X., Quan B., Xu X., Hu F., Lu X., Gu C., Wang L. Effect of inhomogeneity and plasmons on terahertz radiation from GaAs (1 0 0) surface coated with rough Au film. *Applied surface science*, 285, 2013, P. 853-857.
16. Pei K., Ren X., Zhou Z., Zhang Z., Ji X., Chan P. K. L. A High- Performance Optical Memory Array Based on Inhomogeneity of Organic Semiconductors. *Advanced Materials*, 30(13), 2018, P. 1706647.
17. Wang, Y., Wei, D., Gao, K. Z., Cao, J., & Wei, F. The role of inhomogeneity of perpendicular anisotropy in magnetic properties of ultra thin CoFeB film. *Journal of Applied Physics*, 115(5), 2014, P. 053901.
18. Pant R. K., Roul B., Singh D. K., Chowdhury A. M., Nanda K. K., Krupanidhi S. B. Inhomogeneity-mediated systematic reduction of the Schottky barrier in a Au/GaN nanorod film interface. *Semiconductor Science and Technology*, 36(1), 2020, P. 015017.
19. Starbova K., Mankov V., Dikova J., Starbov N. The effects of vapour incidence on the microstructure and related properties of condensed GeS<sub>2</sub> thin films. *Vacuum*, 53(3-4), 1999, P. 441-445.
20. Márquez E., Bernal-Oliva A. M., Gonzalez-Leal J. M., Prieto-Alcon R., Navarro J. V., Minkov D. Optical constants in the subgap region and vibrational behaviour by far-infrared spectroscopy of wedge-shaped obliquely-deposited amorphous GeS<sub>2</sub> films. *Physica Scripta*, 60(1), 1999, P. 90.