



УДК 536.331

Е. М. Руденко, І. В. Короташ, А. П. Шаповалов, З. Ф. Цибрій,
М. О. Білоголовський, Д. Ю. Полоцький, Ю. В. Шлапак,
В. М. Чміль, Е. М. Глушеченко, В. В. Чміль, А. М. Пилипенко,
член-кореспондент НАН України Ф. Ф. Сизов

Теплофізичні та спектральні характеристики квазіоптичних фільтруючих пристроїв для кріоелектронних приймальних систем

Обговорюється питання використання полімерних плівок як фільтрів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. Виконано числові розрахунки теплофізичних характеристик полімерних плівок, розміщених на перерізі круглого хвилеводу. Показано, що для створення ефективних квазіоптичних фільтруючих пристроїв ІЧ діапазону необхідне додаткове покриття таких плівок шаром з високим коефіцієнтом теплопровідності. Реалізація цих композиційних структур забезпечила ефективне загородження від шкідливого теплового випромінювання в ІЧ діапазоні спектра та пропускання з найменшими втратами інформаційного сигналу в робочому мікрохвильовому діапазоні 2–36 ГГц.

Ключові слова: кріоелектроніка, фільтри інфрачервоного випромінювання, полімерні плівки, нітрид алюмінію, теплофізика.

Одним із основних завдань сучасної кріоелектроніки є створення нових типів надчутливих приймальних систем, які забезпечать збереження і покращення інформативності, повноти і якості обробки отриманого корисного сигналу та значне придушення всезростаючих інтерференційних та індустриальних завад, пов'язаних з роботою мікрохвильових передавачів систем зв'язку, локації та випромінюванням різноманітних мікрохвильових промислових установок [1].

Вирішення цієї проблеми також вимагає створення спеціальних систем захисту від зовнішнього паразитного теплового випромінювання, теплових ударів та власного теплового випромінювання антенної системи і елементів передавального тракту, які знаходяться при температурі зовнішнього середовища ("тепла частина"). Досягти необхідних технічних характеристик кріоелектронної приймальної системи при забезпеченні високої надійності

© Е. М. Руденко, І. В. Короташ, А. П. Шаповалов, З. Ф. Цибрій, М. О. Білоголовський, Д. Ю. Полоцький, Ю. В. Шлапак, В. М. Чміль, Е. М. Глушеченко, В. В. Чміль, А. М. Пилипенко, Ф. Ф. Сизов, 2015

і стійкості до зовнішніх екстремальних факторів можна за допомогою функціональних фільтруючих пристроїв, які мають надати високий рівень пропускання з найменшими втратами корисного інформативного сигналу у робочих мікрохвильових каналах у діапазоні 2–36 ГГц і загородження елементів приймального тракту від небажаного і шкідливого ІЧ (теплого) випромінювання. Для цього необхідно розробляти технології функціональних плівкових покриттів на діелектричних носіях, які б гарантували потрібні спектральні характеристики селективного пропускання і загородження. Але необхідні для забезпечення радіопрозорості вхідних ланок приймальних трактів в потрібному інформативному мікрохвильовому діапазоні діелектричні підкладки або плівки не можуть бути використані в стандартних мікроелектронних вакуумних технологіях нанесення плівкових покриттів, оскільки більшість “прозорих” для мікрохвильового випромінювання матеріалів є нестійкими до термічної обробки. Ще однією критичною технологічною проблемою є синтез відповідних наноструктурованих плівкових покриттів, які забезпечили б загородження в ІЧ діапазоні спектра. На вирішення теплофізичних аспектів зазначених проблем і спрямована дана робота.

Вибір матеріалу діелектричних підкладок для квазіоптичних фільтруючих пристроїв. Фільтруючі пристрої мають розміщуватися на вході кріоелектронного приймача, перекриваючи переріз вхідного антенного тракту. Через конструкцію кріоелектронної приймальної системи їх основою має бути діелектрична підкладка, яка надасть такі функціональні можливості:

пропускання з мінімально можливими втратами мікрохвильового інформаційного сигналу в робочих каналах в діапазоні 2–36 ГГц;

теплову “розв’язку” кріогенної “холодної” частини приймача, що знаходиться при температурі 15 К, від його “теплої” частини, яка перебуває при температурі довкілля; зокрема, відсікання теплових шумів.

Аналіз попередніх розробок мікрохвильових пристроїв та кріогенних систем показав, що діелектричні підкладки необхідно виготовляти з полімерних матеріалів, зокрема тефлону (фторопласту), який має низький рівень втрат у мікрохвильовому діапазоні електромагнітного випромінювання і при достатній товщині є непрозорим у видимому діапазоні. Наші дослідження спектральної прозорості плівок тефлону завтовшки 0,2 мм у середній частині (2–25 мкм) ІЧ діапазону випромінювання виявили існування в спектрі значних ділянок, в яких тефлон має високий рівень прозорості (див. далі). Пошук інших матеріалів, що за своїми властивостями можуть бути використані для квазіоптичних фільтруючих пристроїв, показав перспективність і такого полімеру, як майлар з відносною діелектричною проникністю від 2,8 до 3,7. Саме тефлон і майлар були вибрані нами як діелектричні підкладки для створення квазіоптичних фільтруючих пристроїв кріоелектронних приймальних систем, призначених для оснащення малих антен новітньої міжнародної мережі радіоінтерферометрії із наддалекою базою.

У даній роботі обговорюється проблема придушення теплового фронту, який виникає на границі “теплої” і “холодної” частини приймача. Як буде показано далі, він є наслідком порівняно низького рівня теплопровідності вказаних полімерних матеріалів, яка при 25 °С становить $\sim(0,25-1) \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ для тефлону та $\sim(0,15-0,24) \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ для майлару. Нижче наводиться розрахунок теплофізичних характеристик таких фільтрів і обґрунтовується необхідність додаткового покриття полімерних плівок шаром з високим коефіцієнтом теплопровідності. Одержані нами експериментальні дані якісно узгоджуються з теоретичними висновками.

Розрахунок теплофізичних характеристик полімерної плівки. Розглянемо просторовий розподіл температури в полімерній плівці завтовшки d , розміщеній на перерізі круглого хвилеводу радіусом R ($R \gg d$) перпендикулярно його осі. Вважаємо теплопровідність стінок хвилеводу досить високою, завдяки чому на поверхні плівки, яка контактує із стінкою хвилеводу, постійно підтримується температура 15 К криогенної “холодної” частини приймача. “Тепла” частина приймача перебуває при кімнатній температурі. Тепло поглинається плівкою пропорційно густині зовнішнього теплового випромінювання q , яке падає на плівку і вважається не залежним від часу. Відповідно до закону Кірхгофа, випромінювальна здатність полімерної плівки E_T дорівнює добутку її поглинальної здатності α на випромінювальну здатність абсолютно чорного тіла $r_T = \sigma T^4$, де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт \cdot м $^{-2}$ \cdot К $^{-4}$ — постійна Стефана–Больцмана [2]. З урахуванням того, що в нашому випадку випромінювати тепло можуть обидві сторони плівки, отримуємо $E_T = 2\alpha\sigma T^4$.

Таким чином, стаціонарне рівняння теплопровідності для зразка круглої форми з урахуванням циліндричної симетрії задачі має вигляд [2]

$$\frac{d^2 T(r, z)}{dz^2} + \frac{d^2 T(r, z)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT(r, z)}{dr} + \alpha \frac{q - 2\sigma T^4(r, z)}{\lambda d} = 0, \quad (1)$$

де $T(r, z)$ — локальна температура зразка; r — радіальна координата в площині плівки; λ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу; гранична умова $T(R, z) = T_0$.

Рівняння (1) можна подати в безрозмірному вигляді

$$\frac{d^2 \tilde{T}(\tilde{r}, \tilde{z})}{d\tilde{z}^2} + \frac{d^2 \tilde{T}(\tilde{r}, \tilde{z})}{d\tilde{r}^2} + \frac{1}{\tilde{r}} \frac{d\tilde{T}(\tilde{r}, \tilde{z})}{d\tilde{r}} = \frac{2\sigma T_0^4}{q} \tilde{T}^4(\tilde{r}, \tilde{z}) - 1, \quad (2)$$

де $\tilde{T} = T/T_0$; $\tilde{r} = r/l_T$; $\tilde{z} = z/l_T$; $l_T = \sqrt{\lambda d T_0 / (\alpha q)}$.

Згідно з (2), l_T визначає характерну довжину, на якій температура змінюється на величину порядку T_0 . В подальшому в числових розрахунках ми використовуємо такі значення параметрів, які відповідають умовам нашого експерименту: $\alpha = 4 \cdot 10^{-2}$ — поглинальна здатність тефлону [3]; $d = 2 \cdot 10^{-4}$ м; $q = 10^3$ Вт \cdot м $^{-2}$; $\lambda = 0,25$ Вт \cdot м $^{-1}$ \cdot К $^{-1}$ — середня величина коефіцієнта теплопровідності для двох досліджених нами полімерів; $T_0 = 15$ К — температура стінок хвилеводу. Отже знаходимо, що l_T має величину порядку декількох міліметрів. Оскільки в наших зразках $d \ll l_T$, то градієнтом температури по товщині плівки можна знехтувати. У той же час в площині плівки, радіус якої становить $R = 0,125$ м, радіальна залежність локальної температури є надзвичайно важливою. Тому ми можемо знехтувати першою складовою у співвідношенні (2).

На рис. 1 наведено результат розрахунку залежності локальної температури T (К) полімерної плівки від величини радіальної координати r . Температура максимальна в центрі зразка і досягає там значення кімнатної температури, незважаючи на постійну температуру $T_0 = 15$ К на його межі. Практично така висока температура встановлюється на поверхні круглого диска плівки на відстані від центра до 0,7 її радіуса R .

У розрахунках (див. рис. 1) передбачалося нормальне падіння зовнішнього випромінювання на зразок. Природно, що максимальне значення локальної температури T_{\max} залежить від кута θ , який утворює випромінювання, що падає на плівку, з нормаллю до її поверхні.

Залежність максимальної локальної температури T_{\max} в центрі круглого зразка від величини коефіцієнта теплопровідності λ матеріалу, з якого він виготовлений, наведено на

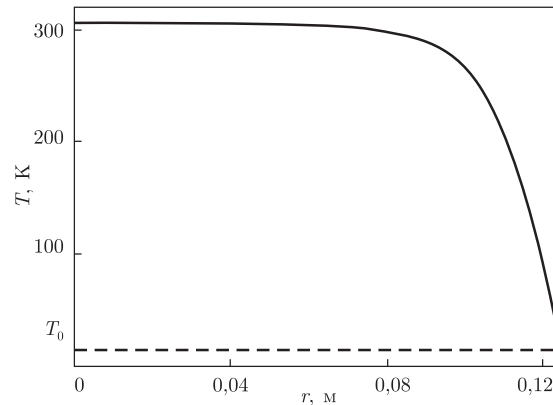


Рис. 1. Залежність локальної температури T (К) полімерної плівки від радіальної координати r при фіксованій температурі $T_0 = 15$ К на межі зразка (штрихова лінія) і густині зовнішнього опромінення $q = 10^3$ Вт \cdot м $^{-2}$ (при нормальному падінні на плівку), $\lambda = 0,25$ Вт \cdot м $^{-1}$ \cdot К $^{-1}$

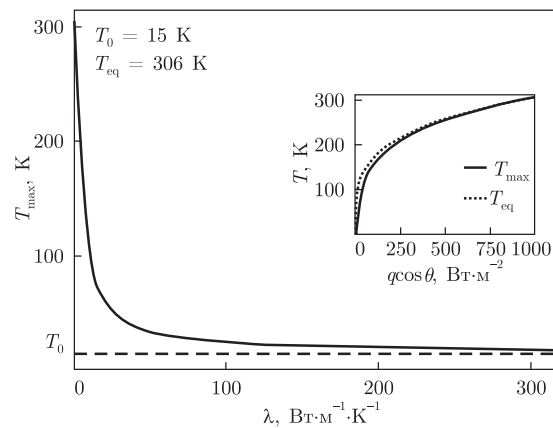


Рис. 2. Залежність максимального значення локальної температури T_{\max} полімерної плівки круглої форми від величини коефіцієнта теплопровідності λ при фіксованій температурі $T_0 = 15$ К на межі зразка (штрихова лінія). Вставка: залежність максимального значення локальної температури T_{\max} (суцільна лінія) полімерної плівки круглої форми і рівноважної температури без відведення тепла T_{eq} (пунктирна лінія) від величини $q \cos \theta$ при фіксованій температурі $T_0 = 15$ К на межі зразка

рис. 2, на вставці залежність T_{\max} від величини $q \cos \theta$. Без відведення тепла від полімерної плівки рівноважна температура T_{eq} задовольняє умову $q \cos \theta = \sigma T_{\text{eq}}^4$.

Як видно зі вставки на рис. 2, T_{eq} відрізняється від T_{\max} тільки при порівняно невеликих значеннях $q \cos \theta$. Вище $q \cos \theta = 300$ Вт \cdot м $^{-2}$ в полімерній плівці заданого розміру має місце практично повне перевипромінювання тепла, що падає на неї. Ця обставина означає, що використання полімерних підкладок з низькою теплопровідністю не дозволяє створити квазіоптичні фільтруючі пристрої з необхідними спектральними характеристиками в ІЧ діапазоні.

Вибір матеріалу плівкових покриттів для квазіоптичних фільтруючих пристроїв. Аналіз рис. 1 показує, що локальна температура T_{\max} в центрі плівки круглої форми, принаймні, на порядок перевищує її значення на межі зразка. При цьому виникає досить сильний тепловий фронт, який накладається на інформаційний сигнал і, відповідно, спотворює його при подальшому детектуванні. Для того щоб приглушити шкідливий ефект

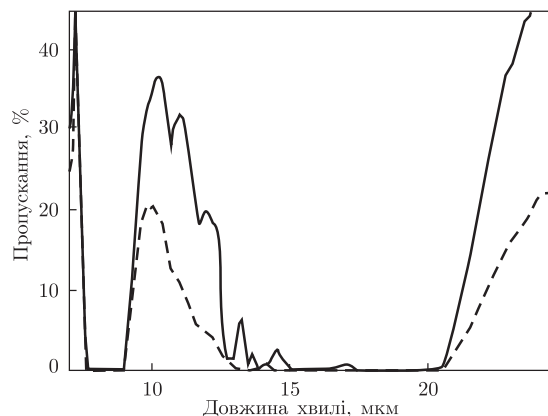


Рис. 3. Спектри пропускання ІЧ випромінювання для підкладки тефлону завтовшки 200 мкм (суцільна лінія) і композиційної структури на основі тефлону і аморфної плівки AlN (штрихова лінія)

перевипромінювання тепла, що падає на полімерну плівку, потрібен матеріал з коефіцієнтом теплопровідності не менше $150 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ (див. рис. 2). Вирішити цю проблему можна шляхом додаткового синтезу на полімерній підкладці плівкових покриттів з високою теплопровідністю, які також мають забезпечити пропускання з найменшими втратами інформаційного сигналу в заданому мікрохвильовому діапазоні 2–36 ГГц.

Матеріалом для цього покриття ми обрали нітрид алюмінію, який має хороші діелектричні характеристики, високу теплопровідність $\sim 170\text{--}190 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, високий рівень жароміцності, корозійної стійкості та стійкості до механічних, термічних і хімічних впливів [4–6]. Одержані на таких композиційних структурах експериментальні дані наведені нижче.

Експериментальні результати. Виміри оптичних характеристик фільтруючих пристроїв, утворених одержаними за допомогою технології низькотемпературного іонно-плазмового синтезу [7–9] плівками AlN на термолабільних полімерних підкладках, в середній області ІЧ спектра виконувалися за допомогою ІЧ фур'є-спектрометра моделі Spectrum BX-II, який базується на однопроменевому скануючому інтерферометрі Dynascan з Ge/KBr розподільником променя. Спектральна роздільна здатність приладу не гірша, ніж $0,8 \text{ см}^{-1}$, відношення корисний сигнал/шум більше, ніж 15000/1.

На рис. 3 і 4 наведено порівняльні спектри пропускання композиційних структур на основі плівок тефлону (завтовшки 200 мкм) або майлару (завтовшки 40 мкм) і аморфної плівки AlN (завтовшки 8 мкм).

Як бачимо (див. рис. 3), для “чистої” плівки тефлону в досліджуваному діапазоні (2–25 мкм) існує кілька смуг з високим рівнем пропускання. Нанесення плівки нітриду алюмінію істотно зменшило пропускання ІЧ випромінювання в діапазоні 7,5–25 мкм, який визначає смугу теплового випромінювання тіл при кімнатних температурах.

Нанесення нітриду алюмінію на плівки майлару (див. рис. 4) також привело до ефективного загородження ІЧ випромінювання в діапазоні 7,5–25 мкм.

Таким чином, одержані результати свідчать про перспективність використання композиційних структур на основі підкладок з тефлону і майлару з плівковим покриттям нітриду алюмінію як пасивних загороджувальних фільтрів в ІЧ діапазоні.

Дослідження мікрохвильових характеристик зразків композиційних структур на основі майлару і аморфної плівки AlN, синтезованих в низькотемпературному іонно-плазмово-

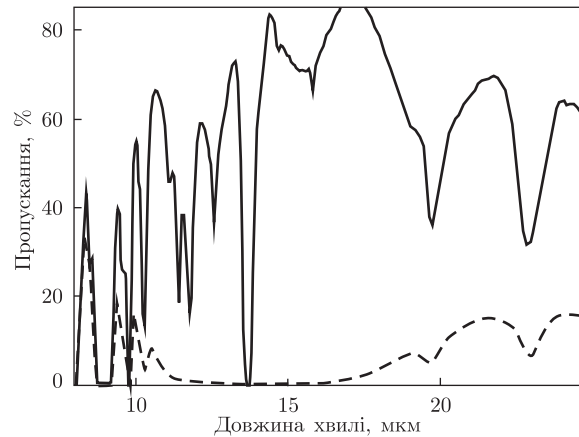


Рис. 4. Спектри пропускання ГЧ випромінювання для підкладки майлару завтовшки 40 мкм (суцільна лінія) і композиційної структури на основі майлару і аморфної плівки AlN (штрихова лінія)

му вакуумному процесі, проводилися в лабораторних умовах при кімнатних температурах. Експериментальні значення внесених втрат (згасання) у трьох робочих частотних каналах у діапазоні 2,2–36 ГГц для композиційних структур на основі майларових плівок (товщина 40 мкм) без покриття і з наноструктурованим покриттям нітриду алюмінію різної товщини наведено в табл. 1. Площа поверхні зразків, з якою взаємодіє мікрохвильове випромінювання і вимірюється величина внесеного згасання, визначається площею поперечного перерізу хвилеводу відповідного частотного каналу. Так, для 1-го каналу активна поверхня зразка становить $S = 80 \times 38 \text{ мм}^2$, для 2-го — $S = 23 \times 10 \text{ мм}^2$, для 3-го — $S = 11 \times 5,5 \text{ мм}^2$. Мікрохвильові вимірювання проводилися у хвилеводних пристроях панорамних вимірювальних комплексів P2-103, P2-57 і P2-66.

Отримані величини мікрохвильових втрат знаходяться нижче рівня похибок вимірювальних комплексів і значно нижчі рівня технологічно допустимих втрат, пов'язаних з флуктуаційними процесами у навколишньому середовищі, значно нижчі за часові експлуатаційні зміни параметрів приймальних криогенних систем.

Таким чином, встановлено, що для створення ефективних загороджувальних фільтрів ГЧ випромінювання застосування тільки полімерних плівок не є ефективним внаслідок їх малої теплопровідності. Проведені теплофізичні розрахунки показали, що вирішення цієї проблеми можливе шляхом створення композиційних структур полімерна плівка — плівкове покриття з високою теплопровідністю.

Таблиця 1. Основні мікрохвильові характеристики композиційних структур на основі плівок майлару

Характеристика зразка	Внесені втрати у робочому частотному каналі, дБ		
	1-й канал 2,2–2,8 ГГц	2-й канал 7,0–9,5 ГГц	3-й канал 28,0–36,0 ГГц
Майларова плівка (товщина 0,04 мм) без покриття	< 0,02 (< 0,46%)	< 0,02 (< 0,46%)	< 0,02 (< 0,46%)
Майларова плівка з покриттям AlN завтовшки $d \approx 1 \text{ мкм}$	< 0,04 (< 1,0%)	< 0,06 (< 1,38%)	< 0,05 (< 1,12%)
Майларова плівка з покриттям AlN завтовшки $d \approx 3 \text{ мкм}$	< 0,18 (< 4%)	< 0,2 (< 4,6%)	< 0,1 (< 2,3%)

Реалізовано технологічні процеси низькотемпературного іонно-плазмового синтезу композиційних структур — наноструктурованих плівок нітриду алюмінію на термолабільних полімерних матеріалах.

Створені композиційні квазіоптичні фільтруючі пристрої забезпечили ефективне загородження в ІЧ діапазоні спектра (7,5–25 мкм) та пропускання з найменшими втратами інформаційного сигналу в робочому мікрохвильовому діапазоні 2–36 ГГц.

Цитована література

1. Kose V. Superconducting Quantum Electronics. – Berlin: Springer, 2012. – 299 p.
2. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – New York: Wiley, 2011. – 1048 p.
3. Баранов В. А., Жук В. В., Конин А. Д., Фильченков В. В. Исследование характеристик сцинтилляционных детекторов с диффузным отражателем. – Дубна, 1995. – 16 с. – (Препринт / Объединенный ин-т ядерных исследований; P13-95-261.).
4. Андреева Т. В., Баранцев И. Г., Дудник Е. М., Юрко В. Л. Исследование некоторых свойств нитрида алюминия // Теплофизика высоких температур. – 1964. – **2**, № 5. – С. 829–831.
5. Жыляков Л. А., Костановский А. В. Оптические свойства тонких пленок нитрида алюминия // Теплофизика высоких температур. – 1992. – **30**, № 2. – С. 290–293.
6. Ribeiro C. T. M., Alvarez F., Zanatta A. R. Structural properties of aluminum-nitrogen films prepared at low temperature // Appl. Phys. Letters. – 2002. – **81**, No 6. – P. 1005–1007.
7. Осипов Л., Руденко Е., Семенюк В., Короташи И., Одинокоев В., Павлов Г., Сологуб В. Высокоэффективный источник низкотемпературного нанесения пленок и покрытий // Наноиндустрия. – 2010. – № 2. – С. 4–6.
8. Короташи И., Одинокоев В., Павлов Г., Полоцкий Д., Руденко Е., Семенюк В., Сологуб В. Установка для формирования наноструктур // Наноиндустрия. – 2010. – № 4. – С. 14–18.
9. Семенюк В. Ф., Руденко Э. М., Короташи И. В., Осипов Л. С., Полоцкий Д. Ю., Шамрай К. П., Одинокоев В. В., Павлов Г. Я., Сологуб В. А. Унифицированное технологическое ионно-плазменное оборудование формирования наноструктур // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – **33**, № 2. – С. 223–231.

References

1. Kose V. Superconducting Quantum Electronics, Berlin: Springer, 2012.
2. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, New York: Wiley, 2011.
3. Baranov V. A., Zhuk V. V., Konin A. D., Filchenkov V. V. Prepr. P13-95-261. JINR., Dubna, 1995 (in Russian).
4. Andreeva T. V., Barantsev I. G., Dudnik E. M., Yurko V. L. Thermophysics of High Temperature, 1964, **2**, No 5: 829–831 (in Russian).
5. Zhyliakov L. A., Kostanovskii A. V. Thermophysics of High Temperature, 1992, **30**, No 2: 290–293 (in Russian).
6. Ribeiro C. T. M., Alvarez F., Zanatta A. R. Appl. Phys. Lett., 2002, **81**, No 6: 1005–1007.
7. Osipov L., Rudenko E., Semeniuk V., Korotash I., Odinkov V., Pavlov G., Sologub V. Nanoindustry, 2010, No 2: 4–6 (in Russian).
8. Korotash I., Odinkov V., Pavlov G., Polotskii D., Rudenko E., Semeniuk V., Sologub V. Nanoindustry, 2010, No 4: 14–18 (in Russian).
9. Semeniuk V. F., Rudenko E. M., Korotash I. V., Osipov L. S., Polotskii D. Yu., Shamrai K. P., Odinkov V. V., Pavlov G. Ya., Sologub V. A. Metallofiz. Noveish. Technol., 2011, **33**, No 2: 223–231 (in Russian).

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова

НАН України, Київ

Інститут фізики напівпровідників

ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ

ПАТ “НВП “Сатурн”, Київ

Надійшло до редакції 10.07.2015

Э. М. Руденко, И. В. Короташ, А. П. Шаповалов, З. Ф. Цибрий,
М. А. Белоголовский, Д. Ю. Полоцкий, Ю. В. Шлапак, В. М. Чмиль,
Е. М. Глушеченко, В. В. Чмиль А. М. Пилипенко,
член-корреспондент НАН Украины Ф. Ф. Сизов

Теплофизические и спектральные характеристики квазиоптических фильтрующих устройств для криоэлектронных приемных систем

Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Киев
Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, Киев
ПАО “НВП “Сатурн””, Киев

Обсуждается вопрос использования полимерных пленок в качестве фильтров инфракрасного (ИК) излучения. Выполнены числовые расчеты теплофизических характеристик полимерных пленок, размещенных на сечении круглого волновода. Показано, что для создания эффективных квазиоптических фильтрующих устройств ИК диапазона необходимо дополнительное покрытие таких пленок слоем с высоким коэффициентом теплопроводности. Реализация этих композиционных структур обеспечила максимальное заграждение от паразитного теплового излучения в ИК области спектра и пропускание с наименьшими потерями информационного сигнала в рабочем СВЧ диапазоне 2–36 ГГц.

Ключевые слова: криоэлектроника, фильтры инфракрасного излучения, полимерные пленки, нитрид алюминия, теплофизика.

E. M. Rudenko, I. V. Korotash, A. P. Shapovalov, Z. F. Tsybrii,
M. A. Belogolovskii, D. Yu. Polotskiy, Yu. V. Shlapak, V. M. Chmil',
E. M. Glushechenko, A. M. Pylypenko, V. V. Chmil',
Corresponding Member of the NAS of Ukraine F. F. Sizov

Thermal and spectral characteristics of quasioptical filtering devices for cryoelectronic receiving systems

G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of the NAS of Ukraine, Kiev
V. Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the NAS of Ukraine, Kiev
PAO NPP “Saturn”, Kiev

We discuss the use of polymer films as infrared-radiation filters. Numerical calculations of thermal characteristics of polymer films placed on a section of a circular waveguide are performed. It is shown that an additional coverage of such films with a layer with a high thermal-conductivity coefficient is needed for the realization of effective infra-red quasioptical filtering devices. Implementation of such composed structures allowed us to maximize a barrage from parasitic thermal re-radiation in the infrared region of the spectrum and the transmission with the least losses of an information signal in the operating microwave range 2–36 GHz.

Keywords: cryoelectronics, infrared filters, polymer films, aluminum nitride, thermal physics.