

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ФІЛЬТРУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ ГНУЧКИХ ПОЛІМЕРІВ З НАНОПОКРИТТЯМИ

Д. ф.-м. н. З. Ф. Цибрій^{1,2}, д. ф.-м. н. Е. М. Руденко¹, к. ф.-м. н. І. В. Короташ¹,
к. ф.-м. н. Д. Ю. Полоцький¹, к.ф.-м. н. М. В. Вуйчик², к.ф.-м. н. К. В. Свеженцова²,
чл.-кор. НАН України, д. ф.-м. н. Ф. Ф. Сизов²

¹Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,

²Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України

Україна, м. Київ

tzybrii@isp.kiev.ua

Пропонуються селективні фільтрувальні елементи на основі гнучких полімерних матеріалів (тефлону, майлару) з нанесеними наноструктурованими двошаровими покриттями тонких напівпровідникових плівок AlN та MgO. Такі композитні структури завдяки розташуванню смуги залишкових променів AlN та MgO в спектральній області 10,5 – 26 мкм ефективно блокують ІЧ-випромінювання, де сконцентрована найбільша потужність випромінювання тіл з $T=300-400$ К, але водночас залишаються прозорими у видимій та ТГц ділянках спектру.

Ключові слова: функціональний блокуючий фільтр, полімерна підкладка, AlN, MgO.

Зростаюче значення життєздатності різних об'єктів вимагає досліджень у галузі зниження інфрачервоних (ІЧ) сигналів новими матеріалами, які можуть блокувати ІЧ-випромінювання об'єктів або змінювати їх зовнішній вигляд. В умовах нічного фону предмети, нагріті до $T < 800$ К є невидимими, але в ІЧ-діапазоні вони в основному випромінюють у спектральному діапазоні $\lambda \approx 1-20$ мкм.

Метою цих досліджень було створення гнучких тонкоплівкових фільтрів на органічних майларових або тефлонових підкладках, які можна застосовувати для блокування ІЧ-випромінювання, але які б були прозорими як у видимому, так і ТГц спектральних діапазонах. Використовуючи напівпровідникові матеріали з легких атомів із великою шириною забороненої зони E_g , які мають смугу залишкових променів в ІЧ-області спектра, можна отримати фільтри, що будуть прозорими як у видимій, так і в ТГц областях завдяки великій E_g і низькій концентрації вільних носіїв. Як двошарове покриття для полімерних підкладок було вибрано AlN (смуга залишкових променів $\lambda \approx 11-16$ мкм для монокристалічної форми) та MgO (смуга залишкових променів $\lambda \approx 14-26$ мкм). Крім того, AlN має високу теплопровідність ($\gamma \approx 320$ Вт/(м·К)), що є важливим для відводу паразитного тепла на периферію.

Напівпровідникові тонкі плівки наносились на полімерні підкладки методом геліконно-дугового іонно-плазмового осадження [1]. Цей метод має певні переваги перед з іншими відомими, пов'язані з його універсальністю, низькими температурами процесу осадження (до кімнатної температури), високою швидкістю конденсації покриттів. Можливість поєднання цієї методики зі специфічними особливостями геліконного джерела ВЧ-плазмового оброблення дозволило реалізувати композиції з тонких полікристалічних наноструктурованих шарів AlN та MgO, нанесених на різні підкладки, у тому числі полімерні, та провести дослідження структурних, морфологічних та оптичних властивостей вирощуваних плівок, їх елементного складу.

Дослідження морфології поверхні вирощених тонких шарів AlN та MgO проводилися за допомогою сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ) та атомно-силової мікроскопії (АСМ). Фотографії СЕМ тонких плівок AlN на підкладках з майлару, представлені на рис. 1, а, демонструють товщину плівок AlN та їх наноколонну структуру. Можна припустити, що метод геліконно-дугового іонно-плазмового осадження, що використовувався для вирощування AlN, характеризується самовільним наноструктурованим ростом, для якого не потрібні ніякі каталізатори, маски, шаблони та попередньо підготовлені підкладки. Ці спонтанно сформовані наноколони AlN на підкладці майлару щільні та вертикально вирівняні вздовж осі z з визначеною гексагональною морфологією, але при цьому демонструють невисокий ступінь однорідності розмірів (рис. 1, б).

Морфологія плівок MgO (рис. 1, в) характеризується упорядкованою регулярною структурою та високим ступенем однорідності. Однорідність структури іонно-плазмового конденсату на основі

оксиду магнію істотно вища, ніж іонно-плазмового конденсату на основі нітриду алюмінію. Упорядкована структура характеризується кристалітами з латеральними розмірами від 170 до 230 нм при висоті 25 – 40 нм. Головною відмінною рисою шарів MgO є наявність особливого нанорельєфу на впорядкованому мікрорельєфі, що добре видно на сканах поверхні 1×1 мкм на рис. 1, в.

Досліджені спектральні залежності ІЧ-пропускання композитних структур на основі полімерних підкладок з нанесеними на них наноструктурованими покриттями AlN і MgO демонструють значне зниження пропускання у середньохвильовому ІЧ діапазоні і прозорість таких структур у далекому ІЧ (ТГц) діапазоні спектра (рис. 2).

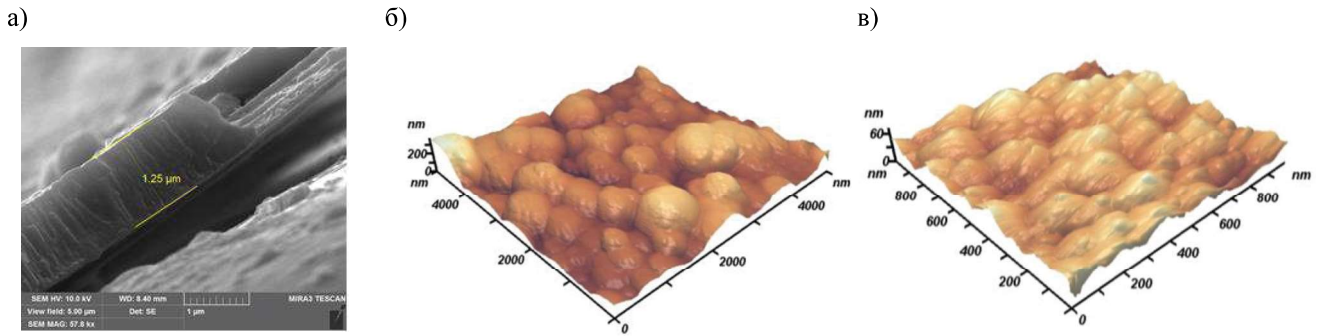


Рис. 1. СЕМ-фото (поперечний переріз) шару AlN з наноколонною структурою, вирощеного на майларовій підкладці (а) та АСМ-топология поверхні плівки AlN (б), MgO (в)

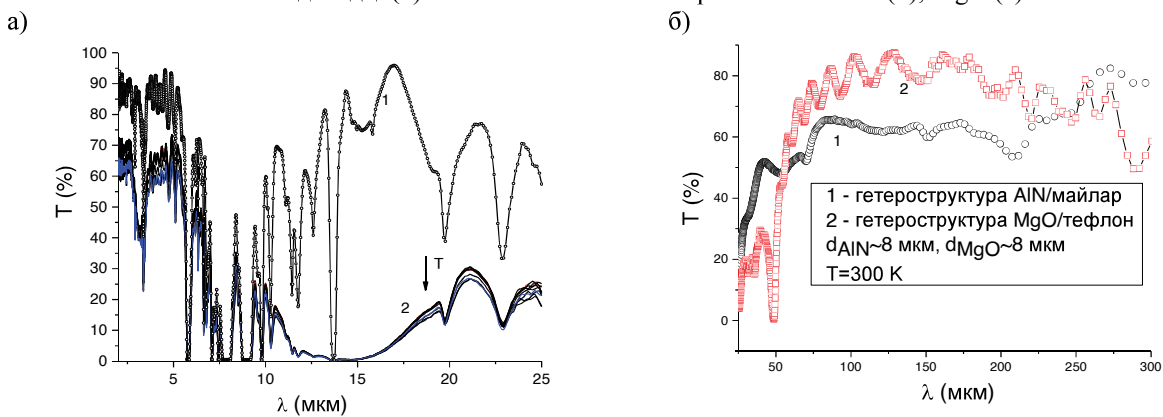


Рис. 2. Спектри пропускання вихідної майларової плівки товщиною 40 мкм (1) та пропускання майларової плівки, покритої шаром AlN (з товщиною 8 мкм) в процесі нагрівання від кімнатної температури до 400 К з кроком 10 К (група кривих 2) (а) та пропускання плівок AlN і MgO на полімерних підкладках в ТГц-області спектра (б)

Отже, показано можливість реалізації функціональних фільтрувальних елементів на основі полімерних підкладок з нанесеним двошаровим наноструктурованим покриттям AlN і MgO, які ефективно блокують ІЧ-випромінювання і є прозорими у видимому та ТГц спектральних діапазонах.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Rudenko, E., Tsybrii, Z., Sizov, et al. Infrared blocking, microwave and terahertz low-loss transmission AlN films grown on flexible polymeric substrates. *J. Appl. Phys.*, 2017, 121, 135304. <https://doi.org/10.1063/1.4979858>

Z. F. Tsybrii, E. M. Rudenko, I. V. Korotash, D. Yu. Polotskiy, M. V. Vuichyk, K. V. Svezhentsova, F. F. Sizov

Functional filtering elements based on flexible polymers with nanocoatings

The study proposes selective filtering elements based on flexible polymeric materials (Teflon, Mylar) with nanostructured two-layer coatings of thin semiconductor films AlN and MgO. Such composite structures, due to the location of the Reststrahlen band of AlN and MgO in the spectral region of 10.5 – 26 μm, effectively block IR radiation, where the highest radiation power of bodies with T = 300–400 K is concentrated, but at the same time remain transparent in visible and THz spectral ranges.

Keywords: functional blocking filter, polymer substrate, AlN, MgO.