

ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$

К. ф.-м. н. І. Г. Орлецький, к. ф.-м. н. М. І. Ілащук, к. ф.-м. н. І. П. Козярьський,
д. ф.-м. н. Е. В. Майструк, к. ф.-м. н. Д. П. Козярьський, Д. В. Кифяк

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Україна, м. Чернівці
i.koziarskyi@chnu.edu.ua

Досліджено умови виготовлення ізотипних гетеропереходів з діодними властивостями $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ методом спреї-піролізу тонких плівок $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ на підкладки $n\text{-CdTe}$. Представлено $I\text{-}V$ -характеристики, проаналізовано особливості формування та роль енергетичних станів на межі гетероконтакту. На основі аналізу $C\text{-}V$ -характеристик встановлено залежність загальної ємності структури від ємнісних параметрів тонкої плівки CoFe_2O_4 та інверсійного шару $n\text{-CdTe}$.

Ключові слова: тонка плівка, спреї-піроліз, CoFe_2O_4 , гетероперехід, $I\text{-}V$ -характеристика, $C\text{-}V$ -характеристика.

Ферит кобальту CoFe_2O_4 має широкий спектр магнітоелектричних властивостей та характеризується високою механічною та хімічною стабільністю й низькою токсичністю [1]. Тонкі плівки CoFe_2O_4 успішно використовуються для виготовлення гетероструктур $\text{Al}/\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{FTO}$ [2] та $\text{Au}/(\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-PVP})/n\text{-Si}/\text{Au}$ [3]. Ці структури мають надто високий послідовний опір (до 10 кОм), що негативно відбивається на їхніх електричних властивостях.

Метою цієї роботи було виготовлення гетеропереходів $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ на низькоомних підкладках $n\text{-CdTe}$ для одержання якісних вольт-амперних характеристик. Використовувались сколоті з кристалів $n\text{-CdTe}$ підкладки товщиною близько 1 мм з електропровідністю $\sigma = 1,4 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, концентрацією носіїв заряду $n = 8,75 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ та холлівською рухливістю електронів $\mu_n \approx 1000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Ізотипні гетеропереходи $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ виготовлялися нанесенням на поверхню підкладок $n\text{-CdTe}$ плівок $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ товщиною $w \approx 0,5 \text{ мкм}$ методом спреї-піролізу. Спреї-піроліз відбувався за умов атмосферного тиску. Для генерації аерозолу над підкладками використовувалася суміш 0,1 М водних розчинів солей $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ та $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ у співвідношенні $\text{Fe}/\text{Co} = 2$. В процесі піролізу солей атоми металів вступають у взаємодію з киснем атмосфери, що призводить до зародження та росту плівки CoFe_2O_4 n -типу провідності з питомим опором $\rho \approx 10^7 \text{ — } 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ і шириною забороненої зони $E_g \approx 2,03 \text{ еВ}$. Омічні контакти зі сторони низькоомного кристалу $n\text{-CdTe}$ створювали вплавленням індію. Контакти до плівки $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ виготовляли зі струмопровідної пасти, яка містить дрібнодисперсне срібло. $I\text{-}V$ -характеристику гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ представлено на рис. 1.

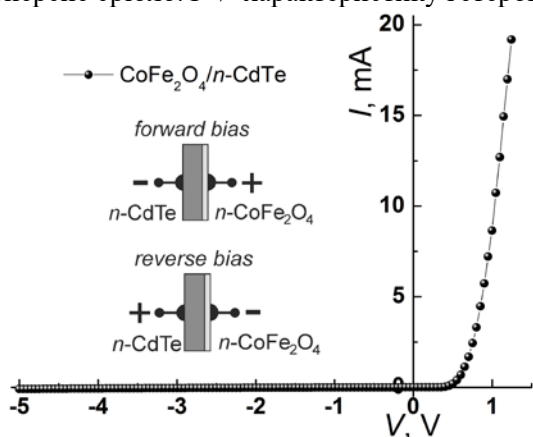


Рис. 1. $I\text{-}V$ -характеристика гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ за температури $T = 293 \text{ К}$

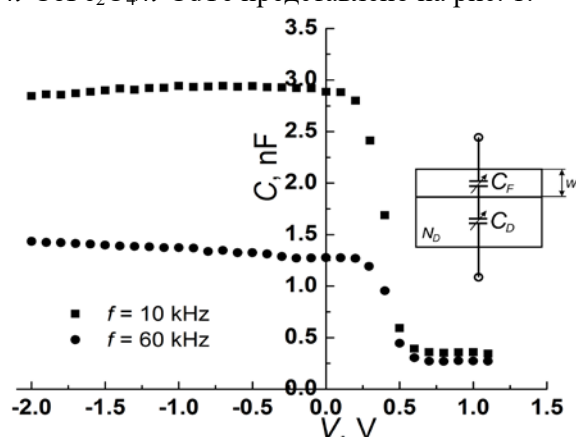


Рис. 2. $C\text{-}V$ -характеристика гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ на частотах 10 та 60 кГц (на вставці — еквівалентна схема)

Коефіцієнт випрямлення струму гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ за температури $T = 293$ К становив приблизно 10^3 при $|V| = 1$ В. Пряме зміщення гетеропереходу, у діапазоні якого різко зростає струм, відповідає від'ємному потенціалу на $n\text{-CdTe}$ і додатному потенціалу на плівці $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$, що добре узгоджується з існуванням збідненої області у $n\text{-CdTe}$ біля контакту із $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$.

C - V -характеристики гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ при частотах вимірювального сигналу 10 та 60 кГц мають характерні для МДН-структур особливості з інверсійним шаром зі сторони $n\text{-CdTe}$ біля межі гетеропереходу та високоомним шаром. Залежності $C = f(V)$ визначаються дифузійною ємністю C_D приконтактної області $n\text{-CdTe}$ і ємністю плівки C_F . Ємності C_D та C_F увімкнені послідовно, і загальна ємність згідно з еквівалентною схемою (див. вставку на рис. 2) дорівнює

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_D} + \frac{1}{C_F}. \quad (1)$$

На гетеропереході $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ завдяки негативному заряду станів на межі поділу матеріалів у напівпровіднику $n\text{-CdTe}$ утворюється інверсійний шар. При зворотному зміщенні ємність цього шару зменшується зі збільшенням частоти.

При прямих зміщеннях гетеропереходу $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ в діапазоні $0 < V < 0,5$ В інверсійна ємність зменшується. Особливістю досліджуваної структури є відсутність процесів акумуляції носіїв заряду, які характерні класичним МДН-структурам. При $V > 0,5$ В ємність гетеропереходу визначається ємністю C_F тонкої плівки $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$.

Отже, високий коефіцієнт випрямлення струму, який складає приблизно 10^3 при втричі меншій напрузі порівняно зі структурами на основі Si [3], малий зворотний струм (≈ 10 мкА) та збереження інверсійної ємності при частотах, що на порядок перевищують граничні частоти кремнієвих МДН-структур, вказують на те, що гетеропереходи $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ є перспективними для використання у швидкодіючих електронних пристроях.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Dippong T., Levei E.A., Cadar O. Recent advances in synthesis and applications of $M\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($M = \text{Co}, \text{Cu}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Zn}$) nanoparticles. *Nanomaterials*, 2021, vol. 11, p. 1560.
2. Dongale T.D., Bagade A.A., Mohite S.V. et al. Bipolar resistive switching with coexistence of mem-elements in the spray deposited CoFe_2O_4 thin film. *J Mater Sci: Mater Electron*, 2018, vol. 29, pp. 3231–3238.
3. Ulasan A.B., Tataroglu A., Altındal Ş., Azizian-Kalandaragh Y. Photoresponse characteristics of $\text{Au}/(\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-PVP})/n\text{-Si}/\text{Au}$ (MPS) diode. *J Mater Sci: Mater Electron*, 2021, vol. 32, pp. 15732–15739.

I. G. Orletskyi, M. I. Ilashchuk, I. P. Koziarskyi, E. V. Mastruk, D. P. Koziarskyi, D. V. Kyfiak

Fabrication and electrical properties of $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ heterojunctions

The authors investigate the conditions for manufacturing isotypic $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ heterojunctions with diode properties using spray-pyrolysis of $n\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ thin films on $n\text{-CdTe}$ substrates. The I - V -characteristics are presented, the features of the formation and the role of energy states at the heterocontact boundary are analyzed. The analysis of the C - V characteristics allowed establishing the dependence of the total capacitance of the structure on the capacitance parameters of the CoFe_2O_4 thin film and the $n\text{-CdTe}$ inversion layer.

Keywords: thin film, spray pyrolysis, CoFe_2O_4 , heterojunction, I - V characteristic, C - V characteristic.