

Твердотельная електроника

УДК 621.372.41

Ю.В. Діденко, В.І. Молчанов, канд. техн. наук, **В.М. Пашков**, канд. техн. наук,
Д.Д. Татарчук, канд. техн. наук, **А.С. Франчук**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

Температурні властивості напівпровідникових резонансних структур з електронним керуванням

Розглянуто р-і-п діоди як багатошарові електродинамічні системи. Показано, що в таких системах можливе виникнення електромагнітного резонансу Е-типу. На основі цього підходу отримано аналітичні вирази для оцінювання температурних залежностей параметрів таких приладів. Експериментально досліджено температурні властивості резонансних систем на основі р-і-п діодів, виготовлених із кремнію та арсеніду галію, а саме залежність резонансної частоти і власної добротності від температури в міліметровому діапазоні довжин хвиль. Показано доцільність використання р-і-п діодів як керуванних резонансних структур у надвисокочастотному діапазоні. Бібл. 5, рис. 3, табл. 1.

Ключові слова: р-і-п діод, резонанс Е-типу, напівпровідниковий резонатор з електронним керуванням, власна добротність, температурний коефіцієнт.

Вступ

Розвиток комунікаційних технологій потребує розробки нових, досконаліших систем передачі даних з малими розмірами, високою добротністю і низькою вартістю. Зазвичай, вузли, які визначають масу і розміри пристроїв зв'язку, – це фільтруючі кола. Тому, для подальшого розвитку сучасних засобів зв'язку важливим є створення частотно-селективних елементів нового типу й функціональних пристроїв на їх основі.

Можливі шляхи вирішення цього завдання

такі: розробка спеціальних конструкцій [1], пошук нових матеріалів, а також нетрадиційне використання вже відомих матеріалів і приладів, у тому числі використання явища діелектричного резонансу в напівпровідникових структурах, таких як р-і-п діоди, діоди Шотткі тощо.

Однією з важливих характеристик, що визначають якість НВЧ-приладів і можливість їх практичного застосування, є термостабільність. Однак, незважаючи на інтенсивні дослідження термостабільності структур з діелектричним резонансом Е-типу, ще недостатньо повно вивчено вплив температури на резонансні частоти і добротність напівпровідникових резонансних систем з Е-типом коливань, що вказує на актуальність наукових робіт в цій області.

Метою даної роботи є дослідження температурних залежностей резонансної частоти й власної добротності р-і-п діодів.

Вплив температури на властивості резонансних систем на основі р-і-п діодів

Напівпровідникові матеріали, які застосовують для виготовлення р-і-п діодів, мають достатньо високу діелектричну проникність і малі діелектричні втрати (табл. 1) для створення на їх основі резонансних пристроїв з Е-типом коливань [3]. При цьому існує принципова можливість електронного керування параметрами таких структур [4]. Крім того, їх можна виготовити за добре відпрацьованою напівпровідниковою технологією.

Таблиця 1. Електрофізичні властивості напівпровідникових матеріалів у діапазоні НВЧ за температури 20 °С

Параметр	Значення	
	Власний Si [5]	Власний GaAs [2]
Діелектрична проникність	11,6	12,9...13,1
Питомий опір, (Ом·м)	2,3·10 ⁵	109
Тангенс кута діелектричних втрат	0,0006...0,0025	0,0016

Типовий р-і-п діод є багат шаровою структурою з Е-типом коливань, до складу якої входять металічні контакти, високолеговані р- та п-області напівпровідника, а також область напівпровідника із власною провідністю – і-область (рис. 1).

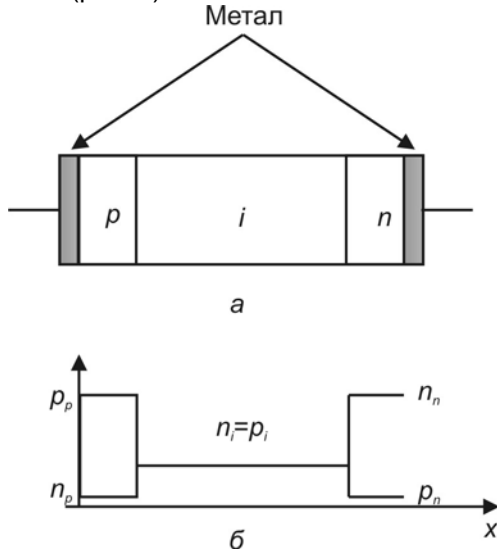


Рис. 1. Схематичне зображення структури ідеального р-і-п діоду (а) та розподіл носіїв у ньому (б)

Термостабільність р-і-п діодів за аналогією з іншими резонансними елементами можна кількісно характеризувати температурними коефіцієнтами резонансної частоти ТКf та власної добротності ТКQ₀. Вирази для їх обчислення можна отримати з виразу для повної похідної резонансної частоти та добротності по температурі. Для багат шарової структури:

$$TKf = \sum_i (S_{\epsilon_i}^f TK\epsilon_i + S_{l_i}^f TKl_i),$$

$$TKQ_0 = \sum_i S_{tg\delta_i}^{Q_0} TKtg\delta_i,$$

де i – номер області багат шарової структури;

$TK\alpha = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T}$ – температурний коефіцієнт параметра α;

$S_{\beta}^{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial \beta}$ – чутливість величини α до зміни параметру β;

наприклад, $S_{l_i}^f$ – чутливість резонансної частоти до зміни геометричних розмірів i-ої області.

Чутливість резонансної частоти до зміни геометричних розмірів i-ої області $S_{l_i}^f$ для прямокутної структури може бути обчислена з виразу:

$$S_{l_i}^f = S_x^f + S_y^f + S_z^f.$$

Чутливості $S_{tg\delta_i}^{Q_0}$ можна виразити через структурні коефіцієнти добротності t_i та тангенс кутів діелектричних втрат у кожній з областей структури:

$$S_{tg\delta_i}^{Q_0} = \frac{-t_i}{\sum_i t_i tg\delta_i},$$

$$\text{де } t_i = -2 \frac{\epsilon_i}{f} \frac{df}{d\epsilon_i}.$$

Наведені вирази дозволяють провести оцінку зміщення резонансної частоти і власної добротності багат шарової структури при зміні температури навколишнього середовища за відомими значеннями ТКα матеріалів, з яких вона виготовлена.

Отже, ТКf й ТКQ₀ залежать як від електрофізичних, так і від геометричних параметрів складових частин багат шарової структури.

Резонансна частота й власна добротність напівпровідникових структур суттєво залежать від температури, тому для вивчення цього питання було експериментально досліджено температурні властивості безкорпусних р-і-п діодів, виготовлених із кремнію та арсеніду галію, у міліметровому діапазоні довжин хвиль (рис. 2, 3).

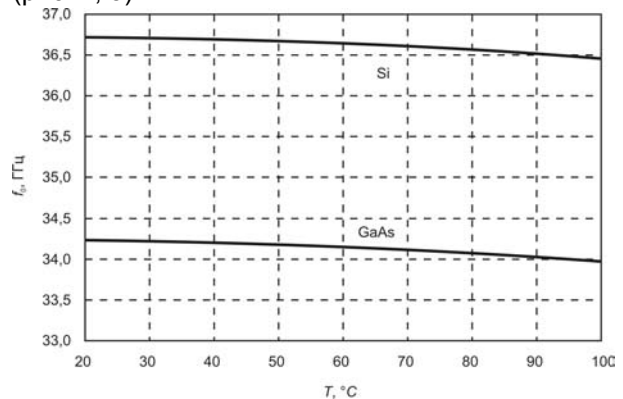


Рис. 2. Залежність резонансної частоти типових безкорпусних р-і-п діодів від температури

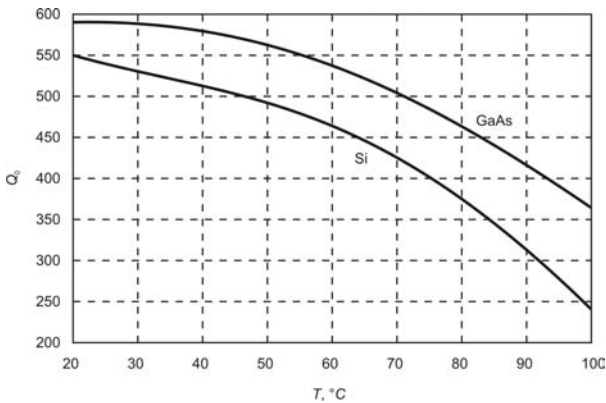


Рис. 3. Залежність власної добротності типових безкорпусних р-і-п діодів від температури

З рис. 2, 3 видно, що в робочому діапазоні температур резонансна частота й власна добротність безкорпусних р-і-п діодів змінюються у межах, допустимих для їх практичного використання. Слід відзначити, що структури, виготовлені з арсеніду галію мають дещо кращі температурні характеристики. Враховуючи це, є доцільним при створенні керування приладів НВЧ застосовувати структури саме на основі арсеніду галію.

Висновки

Отримано вирази, що дозволяють провести оцінку зміщення резонансної частоти і власної добротності р-і-п структури при зміні температури навколишнього середовища за відомими значеннями температурних коефіцієнтів відповідних параметрів матеріалів, з яких вона виготовлена.

Експериментально отримано залежність резонансної частоти та власної добротності типових безкорпусних р-і-п діодів, виготовлених із кремнію та арсеніду галію, від температури у міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Показано, що в робочому діапазоні температур резонансна частота й власна добротність безкорпусних р-і-п діодів змінюються у межах, допустимих для їх практичного використання.

Список використаних джерел

1. *Poplavko Y.* Frequency tunable microwave dielectric devices. / Y. Poplavko, V. Molchanov, V. Pashkov, E. Furman, M. Lanagan // Telecommunication and Radio Engineering, Begell House Press, USA. – 2007. – vol.66, Issue 15. – pp. 1371–1379.
2. *Воронкин А.С.* Автоматизированное моделирование параметров пассивных сосредоточенных элементов и цепей согласования в ВЧ/СВЧ приборах / А.С. Воронкин // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2008. - № 1Е [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2008-1E/08vassvp.htm>.
3. *Молчанов В.І.* Напівпровідникові комбіновані структури з діелектричним резонансом Е-типу / В.І. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук // Електроника и связь. – 2000. – №9. – С. 55–58.
4. *Молчанов В.І.* Напівпровідникові резонансні структури із електронним керуванням / В.І. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, А.В. Єременко // «Електроника и связь». – 2003. – №19. – С. 17–19.
5. *Татарчук Д.Д.* Резонансні властивості р-і-п діодів у НВЧ діапазоні / Д.Д. Татарчук, В.І. Молчанов, Ю.В. Діденко, А.С. Франчук // Вісник ХНТУ. – 2013. – №2(47). – С. 339–342.

Поступила в редакцію 28 октября 2013 г.

УДК 621.372.41

Ю.В. Діденко, В.І. Молчанов, канд. техн. наук, **В.М. Пашков**, канд. техн. наук,
Д.Д. Татарчук, канд. техн. наук, **А.С. Франчук**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

Температурные свойства полупроводниковых резонансных структур с электронным управлением

Рассмотрены р-і-п диоды как многослойные электродинамические системы. Показано, что в таких системах возможно возникновение электромагнитного резонанса Е-типа. На основе данного подхода получены аналитические выражения для оценки температурных зависимостей па-

раметров таких приборов. Экспериментально исследованы температурные свойства резонансных систем на основе *p-i-n* диодов, изготовленных из кремния и арсенида галлия, а именно зависимость резонансной частоты и собственной добротности от температуры в миллиметровом диапазоне длин волн. Показана целесообразность использования *p-i-n* диодов как управляемых резонансных структур в сверхвысокочастотном диапазоне. Библ . 5, рис. 3, табл . 1.

Ключевые слова: *p-i-n* диод, резонанс *E*-типа, полупроводниковый резонатор с электронным управлением, собственная добротность, температурный коэффициент.

UDC 621.372.41

Yu.V. Didenko, V.I. Molchanov, Ph.D., **V.M. Pashkov**, Ph.D., **D.D. Tatarchuk**, Ph.D., **A.S. Franchuk**
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,
st. Polytechnique, 16, Kyiv, 03056, Ukraine.

The temperature properties of semiconductor resonant structures with electronic control

The p-i-n diodes as multilayer electromagnetic systems are considered. It is shown that in such systems may experience electromagnetic E-type resonance. Using this approach, analytical expressions for the evaluation of the temperature dependence of the parameters of such devices are obtained. The temperature properties of resonant systems on the base of Si and GaAs p-i-n diodes, namely the dependence of resonant frequency and unloaded Q-factor from temperature at millimeter wavelengths are experimentally studied. The expediency of the use of p-i-n diodes as controlled resonant structures in the UHF range is shown. References 5, figures 3, tables 1.

Keywords: *p-i-n diode, E-type resonance, semiconductor resonator with electronic control, unloaded Q-factor, temperature coefficient.*

References

1. Poplavko Y., Molchanov V., Pashkov V., Furman E., Lanagan M. (2007), "Frequency tunable microwave dielectric devices". Telecommunication and Radio Engineering, Begell House Press, USA. Vol.66, Issue 15, pp. 1371–1379.
2. Voronkin A.S. (2008), "The automated simulation of parameters of passive lumped elements and line-building-out networks in RF/UHF devices". Luhansk, Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. Vol. 1E [Online resource]. <http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2008-1E/08vassvp.htm>. (Rus)
3. Molchanov V.I., Pashkov V.M., Tatarchuk D.D. (2000), "The semiconductor combined structures with E-type dielectric resonance". Electronics and Communications. Vol. 9, pp. 55–58. (Ukr)
4. Molchanov V.I., Pashkov V.M., Tatarchuk D.D., Yeremenko A.V. (2003), "The semiconductor resonant structures with electronic control". Electronics and Communications. Vol. 19, pp. 17–19. (Ukr)
5. Tatarchuk D.D., Molchanov V.I., Didenko Yu.V., Franchuk A.S. (2013), "The resonance properties of p-i-n-diodes in the UHF range". Visnyk KhNTU. Vol. 2(47), pp. 339–342. (Ukr)