

Л.В. Шеховцов

ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ МЕТОД ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕХІДНИХ ШАРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГЕТЕРОСИСТЕМ

Діагностичний метод полягає в наступному: вимірюється спектральна характеристика латеральної фотоерс, що генерується у структурі (або приладі) при її освітленні світлом з довжиною хвилі поблизу краю фундаментального поглинання базового напівпровідникового шару.

Для ілюстрації дієвості методу наведена частина результатів вимірів для зразків контакту Шоттки NbN-GaAs з концентрацією азоту в плівці NbN 5% і температурою термічного відпалення 900 і 950°C.

З'ясовано, що знакозмінний характер та невелика амплітуда такої характеристики вказує на якісний за однорідністю та величиною потенційний бар'єр (або бар'єри), що необхідно сформувати для виготовлення контакту Шоттки або іншої структури.

Аналіз особливостей спектральної характеристики та її модифікації дозволяють зробити висновок, що в разі, якщо ерс має один максимум та амплітуду, яка в декілька разів перевищує амплітуду знакозмінної характеристики, це вказує на сформований перехідний шар між складовими гетеросистеми з високою, порівняно з квазінейтральною областю напівпровідника, провідністю. Наявність такого шару збільшує вірогідність виходу з ладу мікроелектронного приладу.

Доповнюють інтерпретацію особливостей спектральних характеристик дослідження розподілу латеральної фотоерс вздовж межі поділу метал-напівпровідник.

Лінійна знакозмінна форма розподілу ерс підтверджує наявність перехідного шару з нижчим рівнем легування в порівнянні з об'ємом GaAs.

В деяких зразках розподіл ерс може бути далеким від лінійного. Це означає, що вже на стадії формування контакту Шоттки відбулась його деградація і необхідно вносити корективи в технологічний процес.

Особливістю діагностичного методу є його неруйнівний характер, а також можливість застосування до напівпровідникових гетеросистем або приладів на їхній основі, в яких може виникати фотоелектричний ефект.

Ключові слова: діагностика, напівпровідникова гетеросистема, латеральна фотоерс, спектральна характеристика.

ВСТУП

Формування фізичного контакту метал-напівпровідник (або напівпровідник-напівпровідник) вивчається із застосуванням різних методів. Серед них: емісія балістичних електронів, температурна залежність вольт-амперної характеристики, фотоемісійна спектроскопія, растрова оптична мікроскопія та інші [1-3].

Вказані методи дають в основному дані про структурні перетворення в контактуючих матеріалах та на межі їхнього поділу. При цьому досить важко встановити кореляцію між такими перетвореннями та електричними властивостями отриманих структур.

З цієї точки зору фотоелектричний метод діагностики, що ґрунтується на вимірюванні амплітуди і спектра латеральної фотоерс в напівпровідникових приладах, що складаються з декількох шарів різних матеріалів, має такі переваги над іншими методами, як експресність та неруйнівний характер вимірів. Крім того, чутливість характерного вигляду спектра фотоерс до технологічних умов виробництва вихідних структур дозволяє надавати рекомендації, які сприяють керованості вирощування гетеросистем для сенсорної техніки на стадії відпрацювання і оптимізації технології їхнього виготовлення.

МЕТОДИКА ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Суть діагностичного методу полягає в наступному: вимірюється спектральна характеристика фотоерс, що генерується у структурі (або приладі) при її освітленні світлом з

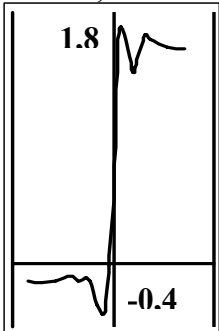
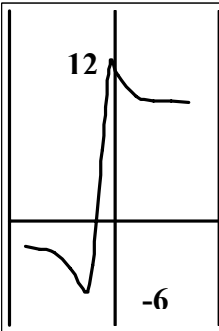
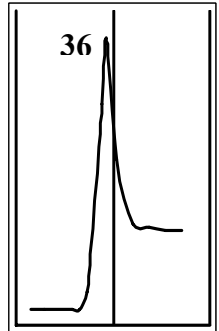
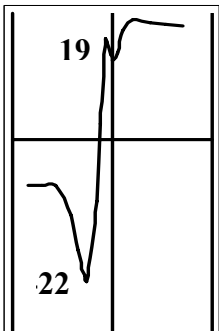
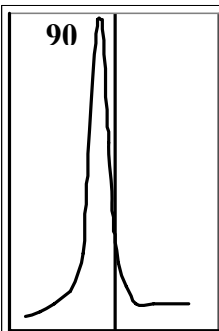
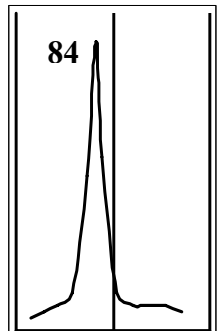
довжиною хвилі поблизу краю фундаментального поглинання базового напівпровідникового шару.

Спектр знімається при повному освітленні фізичної площини структури. В цьому випадку вимірюється сумарна фотоерс, амплітуда якої характеризує усереднену величину потенційного бар'єра області виснаження контакту Шотткі.

Раніше були проведені детальні дослідження модельних структур NbN-GaAs і представлені типові спектральні характеристики ерс для зразків з концентрацією азоту в плівці NbN 2, 5, 15 і 20%, які були відпалені при температурі 850, 900 та 950°C з метою підбору оптимальних технологічних умов формування контакту Шотткі [4].

В результаті досліджень було з'ясовано, що головною тенденцією є зміна форми спектральної характеристики з двополярної на однополярну. Для ілюстрації в таблиці наведена частина результатів вимірів для зразків контакту Шотткі NbN-GaAs з концентрацією азоту 5% і температурою термічного відпалення 900 і 950°C. Інтенсивність збуджуючого монохроматичного світла складала $2 \cdot 10^{14}$ квант/см²с. Поруч з максимумами спектрів вказана амплітуда фотоерс.

Таблиця. Типові спектральні характеристики латеральної фотоерс в зразках контакту Шотткі NbN-GaAs.

$T_{\text{відп}} \text{ } ^\circ\text{C}$			N, %
850	900	950	
$U \cdot 10^{-6}, \text{ В}$			5
			
$h\nu, \text{ eV}$			20
			

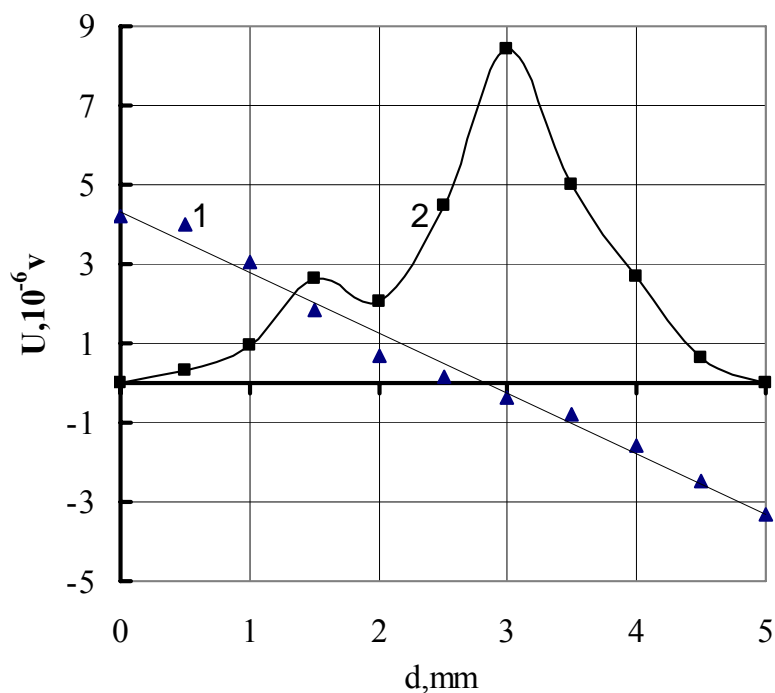


Рис.1. Розподіл фотоерс вздовж зразка NbN-GaAs в умовах: 1-однорідного та 2-неоднорідного легування перехідного шару; d-довжина освітлюваної частини зразка; U-амплітуда ерс.

Крім того, розподіл фотоерс вздовж зразка, що вимірювався за допомогою світлового зонда інтенсивністю $8 \cdot 10^{14}$ квант/см²с та шириною 0,3мм, який рухався зі швидкістю 0,025мм/с, був близьким до лінійного і характерним для латеральної ерс (рис.1, залежність 1). Генерація фотоерс такого типу відбувається при наявності в структурі двох або більше шарів з різним типом або ступенем провідності, розділених між собою потенційними бар'єрами. При вимірюванні спектральних характеристик фотоерс в такому випадку освітлення поверхні зразка збуджуючим монохроматичним світлом повинно бути несиметричним відносно точки зміни знака фотоерс. В роботі [5] приведений детальний аналіз механізму генерації латеральної фотоерс в напівпровідникових структурах. В деяких зразках розподіл ерс був далекий від лінійного (рис.1, залежність 2). Це може означати, що вже на стадії формування контакту Шотткі відбулась його деградація, а отже, треба вносити корективи в технологічний процес.

Викладені результати дозволяють наголосити на наступному:

а) знаковміний характер та невелика амплітуда характеристики вказує на однорідний потенційний бар'єр в області виснаження контакту метал-напівпровідник (контакт Шотткі), а також формування перехідного шару з меншим рівнем легування в порівнянні з квазінейтральною областю GaAs.

в) якщо спектральна характеристика має один максимум та амплітуду, що в декілька разів перевищує амплітуду знаковміної характеристики (див. таблицю), то це вказує на сформований перехідний шар між складовими гетеросистеми з високою, порівняно з квазінейтральною областю напівпровідника, провідністю. Наявність такого шару збільшує вірогідність виходу з ладу мікроелектронного приладу під час його функціонування.

ВИСНОВКИ

Таким чином, діагностика методом вимірювання спектра латеральної фотоерс дозволяє прогнозувати електричні властивості напівпровідникових гетеросистем, а також, в

свою чергу, надає можливість для рекомендацій, зокрема, за хімічним складом матеріалу контакту, за температурою відпалення тощо, які сприяють керованості технології вирощування гетеросистем для сенсорної техніки.

Додаткову до спектральних характеристик інформацію дають дослідження розподілу латеральної фотоерс вздовж межі поділу метал-напівпровідник.

Застосування пропонованого фотоелектричного методу діагностики дозволяє також встановити ступінь неоднорідності напівпровідникових шарів, що складають структуру і прогнозувати перерозподіл густини струму, який протікає через фізичний об'єм прилади.

Свого часу використання даного методу дослідження дозволило встановити наявність перехідного шару з протилежно спрямованими градієнтами питомого опору в гетероструктурі Ge-GaAs [6], виявити довготривалу релаксацію фотоерс в ZnSe-GaAs [7] та перехідний шар і зміщення краю поглинання в контактах Шоттки TiB₂-GaAs [8].

Ці можливості діагностики є важливими також тому, що дозволяють диференціювати вплив потенційних бар'єрів та перехідних шарів, що сформувались в різних частинах гетеросистеми.

L.V. Shekhovtsov

DIAGNOSIS OF SEMICONDUCTOR HETEROSYSTEMS USING THE PHOTOVOLTAIC METHOD

The diagnostic method is as follows: the lateral photo-EMF spectral characteristics are measured, generated in the structure (or device) when illuminated by wavelength light with a near the edge of the basic semiconductor layer.

For illustrations of efficiency method the given part of the measurement results for Schottky contact samples with a nitrogen concentration of 5% and a thermal annealing temperature of 900 and 950°C.

It has been found that a significant character and a small amplitude of such a characteristic indicates qualitative at a homogeneity and the necessary magnitude of the potential barrier (or barriers), that it is necessary to form to make Schottky contact or other structure.

A significant characteristic and a small amplitude of such a characteristic indicates a qualitative one-line and the required value of a potential barrier (or barriers) that must be formed for the manufacture of a semiconductor structure or device.

If the spectral characteristic has one maximum and amplitude that is many times higher than the amplitude of a significant characteristic, then this indicates a formed transition layer between components of heterosystems with high, compared with a quasine-power region of semiconductor, conductivity. The presence of such a layer increases the probability breaks down of the microelectronic device.

Investigation of the distribution of lateral photours along the metal semiconductor interface compliant interpretation of spectral characteristics features.

The linear significant form of distribution of EMF confirms the presence of a transition layer with a lower doping level compared with GaAs.

An important feature of the diagnostic method is its non-destructive character, as well as the possibility of applying to semiconductor or devices based on them, in which the photovoltaic effect may occur.

Keywords: diagnostic, semiconductor heterosystems, lateral photo-emf, spectral characteristic

1. Liliental-Weber Z., Gronskey R., Washburn J. et al Schottky and Ohmic Au contacts on GaAs: Microscopic and electrical investigation. *Vac. Technol. B.* 1986. **4**, N 4. P.912-918.
2. Kim C., King P.L., Pianetta P. Fermi-level inhomogeneities on the GaAs (110) surface imaged with a photoelectron microscope. *Vac. Technol. B.* 1992. **10**, N 4. P.1944-1948.
3. Волкова Е.В., Логинов А.Б., Логинов Б.А., Тарасова Е.А., Пузанов А.С., Королев С.А., Семёновых Е.С., Хазанова С.В., Оболенский С.В. Экспериментальные исследования модификации характеристик GaAs-структур с контактами Шоттки после воздействия быстрых нейтронов. *ФТЛ.* 2021. **55**, №10. С.846-849.

4. Венгер Е.Ф., Готовы И., Шеховцов Л.В. Дegradация контакта Шоттки при термическом отжиге. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*. 2012. **47**. С.77-83
5. Wallmark J.T. A New Semiconductor Photocell Using Lateral Photoeffect. *Procc. IRE*. 1957. **45**, №4. P.474-483.
6. Шеховцов Л.В., Саченко А.В., Шварц Ю.М. Поперечная фотоэдс в гетероэпитаксиальной структуре. *ФТП*. 1995. **29**, №3. С. 566-573.
7. Венгер Е.Ф., Семенова Г.Н., Садофьев Ю.Г., Корсунская Н.Е., Семцов М.П., Сапко С.Ю. Шеховцов Л.В. Особенности долговременной релаксации фотоэдс в гетероэпитаксиальной структуре ZnSe-GaAs. *Письма в ЖТФ*. 2000. **26**, №5. С.23-30.
8. Венгер Е.Ф., Конакова Р.В., Охрименко О.Б., Сапко С.Ю., Иванов В.Н., Шеховцов Л.В., Переходной слой в контактах Шоттки $TiB_2 - GaAs$ Au - $TiB_2 - GaAs$. *ФТП*. 2001. **35**, N 4. С.439-444.

Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
41, проспект Науки,
03680 Київ, Україна
E-mail: lvsh@ua.fm

Отримано 01.09.2021