

УДК 681.7.068

Е.И. Зингаева¹, В.А. Зуев¹, Б.Н. Романюк², Е.В. Гаврилко¹¹Государственный университет телекоммуникаций, Киев²Научно-исследовательский институт полупроводников им. Лашкарёва, Киев

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОВАРИКАПОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Исследованы вольтфарадные и шумовые характеристики фотоварикапов на основе кремния и германия. Создан макет приемного оптического модуля. Показана перспективность использования фотоварикапов в волоконно-оптических системах передачи информации.

Ключевые слова: фотоварикап, фотоприемники, приемный оптический модуль.

Введение

От качества фотоприемников (ФП) существенно зависит дальность и качество приема оптической информации. В настоящее время в оптической связи (ОС) используются, в основном, фотодиоды различного типа [1].

В настоящее время впервые описываются результаты использования (в качестве ФП для ОС) фотоварикапы (ФВ), изготовленные на базе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).

Основная идея перспективности МДП-фотоварикапов заключается в низких шумах этих устройств (см., например, [2]), что крайне важно с точки зрения разработки приемных оптических модулей (ПРОМ) для ОС.

Структура и основные характеристики МДП-фотоварикапов

На рис. 1 дано схематическое изображение варикапа и его энергетическая диаграмма.

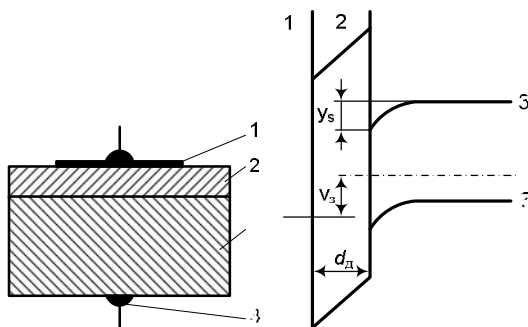


Рис. 1. Схематическое изображение варикапа и его энергетическая диаграмма

В нашем случае затвор был полупрозрачным (слой SnO_2). В качестве полупроводников использовались Ge и Si, а в качестве диэлектрика слой SiO_2 .

Использование Si позволяло осуществить прием оптического сигнала в диапазоне длин волн 0,7÷1,1 мкм, а использование Ge позволило расширить диапазон приема до 1,8 мкм. Заряд на затворе равен:

$$Q_3 = C_d (V_3 - \phi_{\text{мп}} - (kT/e)y_s), \quad (1)$$

где y_s - изгиб зон на поверхности; C_d - удельная емкость диэлектрика; V_3 - постоянное напряжение, приложенное к затвору; $\phi_{\text{мп}}$ - контактная разность потенциалов металл-полупроводник.

Детальный расчет МДП-фотоварикапов был проведен в [2, 3]. Характеристики ФВ в общем случае описываются крайне громоздкими выражениями, полученными на основе расчета полного поверхностного тока, полного сопротивления системы Z и решения амбиполярного диффузионного уравнения.

Коэффициент перекрытия по свету K_1 , равен отношению добавочной емкости полупроводника ΔC_n к темновой емкости C_n

$$K_1 = \Delta C_p / C_p, \quad (2)$$

в свою очередь C_p выражается через величину Z:

$$C_n = -1/(\omega I_m Z). \quad (3)$$

В наших опытах использовались инверсионные изгибы зон, при которых выражение для K_1 определяется:

$$K_1 - 1 = e^{2u_b} \Delta_{\text{nl}} \times \left\{ 1 - \frac{3}{2} e^{2u_b} \frac{\int_0^{y_s} \left[(e^y - 1) \frac{(e^y + e^{-y} - 2)^2}{F^5(y)} \right] dy}{\int_0^{y_s} \left[(e^y - 1) \frac{(e^y + e^{-y} - 2)}{F^3(y)} \right] dy} \right\}, \quad (4)$$

где Δ_{nl} - уровень инжекции по основным показателям; y - изгиб зон в данной точке области пространственного заряда (ОПЗ); u_b - положение уровня Ферми в объеме, отсчитанное от середины запрещенной зоны полупроводника.

Функция $F(y)$ соответствует выражению для первого интеграла уравнения Пуассона:

$$F(y^*) = \pm \left\{ \begin{aligned} & (n_1^*/n_v) \cdot [\exp(y^*) - y^* - 1] + \\ & + (p_1^*/n_v) \cdot [\exp(-y^*) + y^* - 1] \end{aligned} \right\}^{1/2}. \quad (5)$$

Функция F положительна при отрицательных y^* и отрицательна при положительных y^* .

Индекс * относится к полным значениям различных величин при освещении (например, $y^* = y + \delta y$), индекс l - к точке, отделяющей ОПЗ от квазинейтрального объема; n_i , L_i - концентрация основных носителей и длина экранирования в собственном материале.

Из полученного выражения следует, что коэффициент перекрытия по освещению K_l , характеризующий фоточувствительность МДП-фотодетекторов, является функцией скорости поверхностной рекомбинации (задающей уровень инжекции вместе с объемным временем жизни) и фактора поверхностного прилипания. При этом прилипания неосновных неравновесных носителей заряда приводит к увеличению коэффициента перекрытия, а прилипания основных - к его уменьшению. На рис. 2 изображена вольт-фарадная характеристика фотоемкостного эффекта (ФЕ). Характерно насыщение ФЕ при использованных нами изгибах зон.

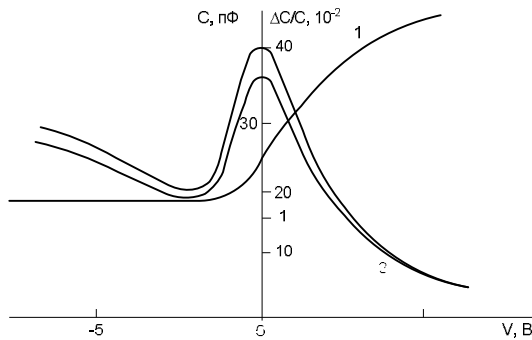


Рис. 2. Вольт-фарадная характеристика фотоемкостного эффекта (ФЕ)

Шумовые характеристики фотодетекторов

Шумы ФВ на основе Si не превышало 0,06 мкВ, а обнаружительная способность D^* достигала значения $10^{12} \text{ В}^{-1} \times \text{смГц}^{1/2}$.

В ФВ на основе Ge аналогичные величины составляли 0,07 мкВ и $5 \times 10^{11} \text{ В}^{-1} \text{ смГц}^{1/2}$ соответственно.

Столь высокая чувствительность обеспечивается малым уровнем шумов в фотодетекторе. Действительно, в отличие от фоторезистора и p-i-n детектора, которые даже в идеальном случае содержат источники шума [1], идеальный МДП-фотодетектор является существенно бесшумовым прибором. Реальные ФВ дают шум главным образом из-за сопротивления, обусловленного электронными состояниями границы раздела ДП и инверсионного слоя рис. 3а. На этом рисунке учтены неконтролируемые сопротивление R_1 и емкость C_1 границы раздела ДП и соответствующие величины для инверсионного слоя ($R_{инв}$, $C_{инв}$). Полезный сигнал образуется емкостью истощенного слоя, выделенной отдельно ($C_{ист}$). Как правило, между измеряемым сигналом V_s и сигнала

лом V_{s0} , генерируемым истощенным слоем, справедливо соотношение $V_s \cong V_{s0} C_{ист} / C_1$ (рис. 3 б).

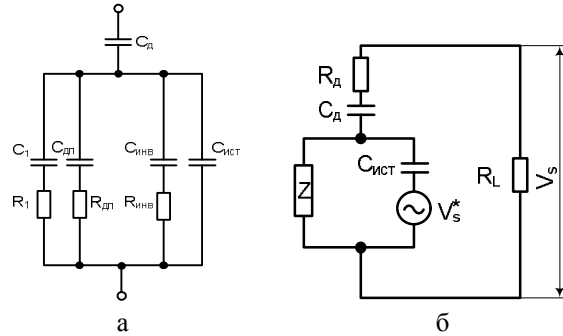


Рис. 3

Приведем типичные значения для указанных величин. Для удобства используем временные величины (произведение соответствующих емкостей на сопротивления; например, $\tau = R_{дп} C_{дп}$ и т.д.).

Для ФВ на основе Si имеем (при $\chi = 0,8 \text{ мкм}$, интенсивность света $J = 10^{11} \text{ квант/см}^2 \cdot \text{с}$) $C_{инв} = 1,5 \text{ пФ}$, $\tau = 0,02 \text{ с}$, $C_д = 6 \text{ пФ}$, $C_{ист} = 0,3 \text{ пФ}$, $C_{дп} = 0,3 \text{ пФ}$, $\tau_{дп} = 5 \cdot 10^5 \text{ с}$; $C_1 = 0,03 \text{ пФ}$, $\tau_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Для ФВ на основе Ge имеем (при $\chi = 1,6 \text{ мкм}$, $J = 10^{11} \text{ квант/см}^2 \cdot \text{с}$)

$C_{инв} = 2 \text{ пФ}$, $\tau_{инв} = 0,03 \text{ с}$, $C_д = 7 \text{ пФ}$, $C_{ист} = 0,4 \text{ пФ}$, $C_{дп} = 0,4 \text{ пФ}$, $\tau_{дп} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ с}$; $C_1 = 0,04 \text{ пФ}$, $\tau_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ с}$.

Макет приемного оптического модуля (ПРОМ) был изготовлен на основе комбинации ФВ и электрического усилителя (полевого транзистора).

В ПРОМ добавляются шумы усилителя. Процедура минимизации шумов усилителя было аналогично описанной в [4, 5].

Реализуемый коэффициент передачи мощности составил 12 дБ, коэффициент шума 5 дБ. Порог чувствительности достигал 30 дБм.

Помимо высокой фоточувствительности, фотодетектор должен обладать и *высокой добротностью*, соответствующей выполнению условия

$$R_{ОПЗ} \gg \omega^{-1} C_1^{-1} \gg R_{вн} \quad (6)$$

где $R_{вн}$ - последовательное сопротивление квазинейтрального объема и контактов; $R_{ОПЗ}$ - сопротивление ОПЗ. Отсюда следует вывод, что использование фотодетектора в вентильном режиме (без внешнего напряжения) предпочтительнее при малых уровнях светового возбуждения, поскольку с ростом J добротность детектора уменьшается. В фотодиодном режиме (при приложении напряжения) фотодетекторы необходимо использовать в условиях, когда фототок значительно превышает темновой.

Выводы

Измерена вольт-фарадные и шумовые характеристики МДП-фотодетекторов на основе Si и Ge. Показана их перспективность для использования в волоконно-оптических системах передачи информации.

Список літератури

1. Шевцов Э.А. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи/ Э.А.Шевцов, М.Е.Белкин - М.: Радио и связь, 1992. - 224 с.
2. Зуев В.А. Фотозлектрические МДП-приборы / В.А. Зуев, В.Г. Попов. - М.: Радио и связь, 1983. - 160 с.
3. Sachenko A.V. Photocarpcitike effect in MIS structures/ A.V.Sachenko, V.A.Zuev, V.O.Litovchenko, P.Peikof-Phys.Stat.Sol (a),1974, v.21, N1, p.345-355.
4. Зингаева Е.И. Шумовые характеристики фотодиода на основе CdP₂/ Е.И.Зингаева, Л.М.Горыня,

В.А.Зуев.-Система управління, навігації та зв'язку.-, Полтава: 2013. - Вип. 3(27). С.150-152.

5. Тукоси Т. Волоконно-оптические устройства / Т. Тукоси, К. Камото, М. Оцу, С. Кома, Н. Косе, В. Хакамада, С. Мору ; под ред. Т. Тукоси; пер. с япон. под ред. П. Р. Иванова. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук., проф. А.А. Манько, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

ВИКОРИСТАННЯ ФОТОВАРИКАПІВ ДЛЯ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

О.І. Зингаєва, В.А. Зуєв, Б.Н. Романюк, Є.В. Гаврилко

Досліджені вольтафазні та шумові характеристики фотоварикапів на основі кремнію і германію. Створено макет приймального оптичного модуля. Показана перспективність використання фотоварикапів у волоконний-оптичних СПД.

Ключеві слова: фотоварикап, фотоприймачі, приймальний оптичний модуль.

PHOTO-VARICAPS APPLICATIONS IN OPTICAL TELECOMMUNICATION

E.I. Zingaeva, V.A. Zuev, B.N. Romanyuk, E.V. Gavrilko

The current-phase and noise characteristics of photo-varicaps, based on Silicon and Germanium, have been investigated. The Model of Optical Receiver has been presented. The outlook of using photo-varicaps in fiber-optical transmission systems has been introduced

Keywords: photo-varicap, photodetectors, optical receiver.

УДК 62-192:681.2:004.89

Н.А. Зубрецька, С.С. Федін, Т.В. Чуприна

Київський національний університет технологій та дизайну, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Визначено системні складові та наукові завдання проблеми забезпечення метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки та запропоновано способи її вирішення на основі сучасних підходів структурно-параметричного та нечіткого моделювання.

Ключові слова: метрологічна надійність, засоби вимірювальної техніки, причинно-наслідкова діаграма, нечіткі множини, функції належності.

Вступ

Вимоги сучасного виробництва, пов'язані з підвищенням точності вимірювань, з використанням сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) у виробничому процесі, зумовлюють необхідність забезпечення їх метрологічної надійності (МН), тобто справності ЗВТ за усіма метрологічними характеристиками (МХ) протягом життєвого циклу [1]. Більшість досліджень надійності ЗВТ на стадіях їх життєвого циклу спрямована на вирішення наступних проблем: оцінювання та прогнозування надійності виробів (апріорні методи), підтвердження проєктованого рівня надійності (апостеріорні методи), оптимізація стратегії технічного обслуговування (оптимізаційні задачі) (рис. 1).

Відсутність моделей, що описують зв'язок показників надійності з фізичними характеристиками

ЗВТ і зовнішніми умовами експлуатації, не дає можливості забезпечити необхідний рівень їх надійності. Слід зазначити, що існуючі методи дослідження надійності ЗВТ у наш час не задовольняють вимогам практики і рівню технології виробництва. Враховуючи комплексний характер та багатofакторність проблеми забезпечення МН, її вирішення сьогодні неможливе лише на основі загальновідомих наукових принципів [2, 3], теоретичних і практичних механізмів їх реалізації та потребує нових способів та підходів [4-10].

Постановка задачі дослідження метрологічної надійності ЗВТ

Аналіз наукових положень теорії МН [2] показав, що сучасні уявлення про кінетику процесів старіння та зношування ЗВТ базуються на вирішенні основних проблем: