

УДК 621.383

УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С МНОГОЗАРЯДНОЙ ПРИМЕСЬЮ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тьявловский А.К., Тьявловский К.Л., Шадурская Л.И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Описан способ управления характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядной примесью, использующий дополнительный управляющий сигнал с широтноимпульсной модуляцией. Применение метода широтно-импульсной модуляции для управления коэффициентами преобразования функциональных преобразователей позволяет реализовать управление преобразовательными характеристиками в широком диапазоне.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, полупроводник, многозарядная примесь, управление характеристикой чувствительности, широтно-импульсная модуляция.

CONTROLLING THE CHARACTERISTICS OF PHOTOELECTRIC CONVERTERS BASED ON SEMICONDUCTORS WITH MULTICHARGED DOPANTS

Vorobey R.I., Gusev O.K., Svistun A.I., Tyavlovsky A.K., Tyavlovsky K.L., Shadurskaya L.I.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The method of controlling the characteristics of photoelectric converters based on semiconductors with multicharged dopants contains using an additional control signal with a pulse-width modulation. The use of pulse-width modulation method to control the transformation factor of functional converter allows one to control the transformation characteristics in a wide range.

Key words: photoelectric converter, semiconductor, multicharged dopant, control of the sensitivity characteristic, pulse-width modulation.

*Адрес для переписки: Тьявловский К.Л., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: ktyavlovsky@bntu.by*

Одним из способов решения многообразных задач оптической диагностики является использование фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью, слабо легированных глубокими примесями, формирующими в запрещенной зоне несколько энергетических уровней с разными зарядовыми состояниями. Особенности физических процессов перезарядки этих уровней обеспечивают на функциональном уровне комплекс новых качественных и количественных характеристик и позволяют создавать фотоприемники для преобразования различных сочетаний входных воздействий на основе ряда простых приборных структур [1; 2].

Многозарядный примесный M -центр (МПЦ) может содержать от 0 до M электронов и соответственно, находиться в $(M + 1)$ различных зарядовых состояниях (рисунок 1). При пустом центре для электрона существует основное вакантное состояние, описываемое локальным уровнем энергии E_1 . При заполнении уровня E_1 для электронов «возникает» новое квантовое состояние с энергией E_2 , которое может быть занято вторым захваченным электроном [2].

Примечательно, что уровни энергии E_2 не существует, пока уровень E_1 не занят хотя бы одним электроном. Само существование активного уровня и энергетический спектр многозарядной примеси определяется занятостью уровней центра и не может быть представлено набором независимых уровней.

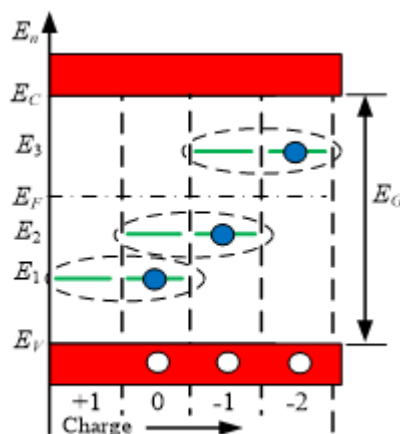


Рисунок 1 – Энергетическая диаграмма примесного центра с четырьмя зарядовыми состояниями

При изменении зарядового состояния примеси, например, под действием оптического излучения, время жизни и скорость рекомбинации носителей заряда может быть изменена на несколько десятичных порядков (рисунок 2). Значения интенсивности оптического излучения, при которых происходит изменение зарядовых состояний МПЦ обозначены как P_L и P_H .

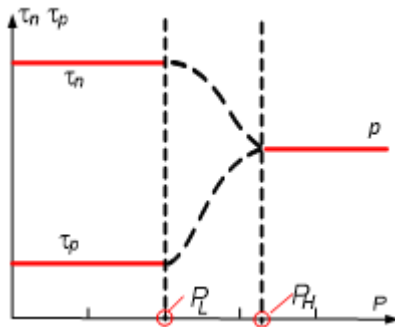


Рисунок 2 – Зависимость постоянной времени рекомбинации акцепторной примеси от уровня оптического возбуждения

Для многозарядной примеси нейтральному состоянию примесного центра соответствует нижний уровень E_1 , занятый электроном и свободный уровень E_2 . При захвате электронов вышележащим уровнем, энергия нижележащего уровня уже не может проявиться из-за сильного взаимодействия между двумя электронами центра и их неразличимости.

Перезарядка уровней примеси в разных зарядовых состояниях глубокой многозарядной примеси под действием внешнего управляющего сигнала (оптического или электрического через дополнительный электрод) [1] приводит к формированию двух диапазонов энергетической и спектральной характеристик чувствительности [1; 2]. Первый диапазон соответствует линейной рекомбинации при плотностях мощности оптического управляющего сигнала, меньших порогового значения P_L , а второй диапазон характеристик – при плотностях мощности оптического излучения больших P_H . Применение ФЭП в диапазонах мощности аналогового управляющего сигнала $P_L < P < P_H$ нецелесообразно из-за высокой нелинейности и нестабильности характеристики управления.

Для реализации линейной функции управления энергетической и спектральной характеристиками чувствительности ФЭП предлагается использовать управление заселенностью энергетических уровней многозарядной примеси внешним управляющим оптическим излучением методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), причем амплитуда интенсивности управляющего оптического излучения должна быть более P_H . При этом за время, определяемое

временем жизни носителей заряда, происходит переключение между диапазонами характеристик ФЭП. Если частота изменения измерительного сигнала не превышает частоты управляющего ШИМ сигнала, то среднее значение коэффициента преобразования ФЭП будет определяться скважностью управляющего ШИМ сигнала (рисунок 3). Применение ШИМ позволяет плавно и по линейному закону изменять наблюдаемое эффективное время жизни носителей заряда, следовательно и определяемый этим временем параметр фоточувствительности.

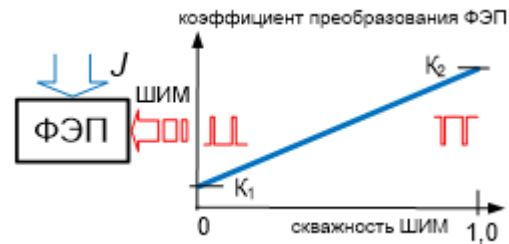


Рисунок 3 – ШИМ регулировка параметров ФЭП

Использование структур на основе полупроводникового материала с глубокой многозарядной примесью позволяет сформировать функциональные ФЭП с чувствительностью к физическим факторам различной физической природы, например, магнитному полю [3; 4]. Применение способа ШИМ регулирования для управления коэффициентами преобразования путем изменения соотношения включенных в работу энергетических уровней в разных зарядовых состояниях позволяет управлять свойствами ФЭП непосредственно в чувствительной области сенсорной структуры, что реализует управление во всем возможном диапазоне коэффициентов преобразования без снижения абсолютной чувствительности.

Литература

1. Series of Photovoltaic Converters Based on Semiconductors with Intrinsic Photoconductivity / R.I. Vorobey [et al.] // Devices and Method of Measurements. – 2021. – № 2. – P. 108–116.
2. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей / О.К. Гусев [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2017. – № 2. – С. 34–42.
3. Магниторекомбинационный преобразователь с оптическим управлением / Р.И. Воробей [и др.] // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й МНТК. – М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, НАН Беларуси. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 74–78.
4. Многопараметрические измерительные преобразователи систем оптической диагностики на основе функциональных датчиков / Р.И. Воробей [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2023. – № 1. – С. 37–45.