

УДК 621.383

ПОЛЕВОЙ ФОТОТРАНЗИСТОР

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

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Описана структура и основные характеристики полевого фототранзистора. Применение полупроводников с многозарядной примесью позволяет реализовать качественно новый состав преобразовательных характеристик, с возможностью их управления дополнительным оптическим управляющим сигналом.

Ключевые слова: полевой фототранзистор; полупроводник; многозарядная примесь; управление характеристикой чувствительности; широтно-импульсная модуляция.

FIELD PHOTOTRANSISTOR

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

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The structure and basic characteristics of the field phototransistor are described. The use of semiconductors with a multi-charged admixture allows you to realize a qualitatively new composition of the transformative characteristics, with the possibility of controlling their additional optical control signal.

Key words: field phototransistor; semiconductor; multifaceted admixture; control of the characterization of sensation; width -pulse modulation.

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

В качестве основы для построения различных сенсоров широко используются структуры на основе полевых транзисторов. Наиболее распространены фотоприемные и ионоселективные приборы, биосенсоры, оптические биосенсоры [1]. Основные преимущества таких структур обусловлены высоким входным сопротивлением наряду с низким выходным, причем длина проводников, связывающих чувствительный электрод с каналом, изменяющим свое сопротивление под действием входного воздействия, равна нулю. Это делает такие приборы практически нечувствительными к влиянию электромагнитных полей.

Новые свойства таким структурам могут быть приданы при использовании в качестве основы для транзисторной структуры полупроводников с собственной фотопроводимостью, слабо легированных глубокими примесями, формирующими в запрещенной зоне несколько энергетических уровней с разными зарядовыми состояниями [2]. Особенности физических процессов перезарядки этих уровней обеспечивают комплекс новых качественных характеристик на функциональном уровне. Хотя многозарядный примесный М-центр может содержать от 0 до М электронов и соответственно, находиться в (М + 1) различных зарядовых состояниях, само существование активного уровня и энергетический спектр многозарядной примеси определяется занятостью уровней центра и не может быть представлено набором независимых уровней. При захвате электронов вышележащим уровнем, энергия нижележащего

уровня уже не может проявиться из-за сильного взаимодействия между двумя электронами центра и их неразличимости. Заполненность уровней примеси в разных зарядовых состояниях, управляемая дополнительным оптическим сигналом, переключает диапазоны энергетической и спектральной преобразовательных характеристик. При изменении зарядового состояния примеси, например, под действием оптического излучения, время жизни и скорость рекомбинации носителей заряда, определяющие преобразовательные характеристики сенсора, могут быть изменены на несколько десятичных порядков [2, 3].

При использовании наиболее распространенных пар основного материала и многозарядной примеси реализуется спектральная чувствительность сенсора в ближнем и среднем ИК-диапазоне [3]. Это, например, позволяет использовать такие структуры для создания датчиков глюкозы на основе методов неинвазивной абсорбционной спектроскопии [1–3].

Реализация биосенсоров и фотоэлектрических датчиков на основе структуры полевого транзистора возможна в различных конструктивных исполнениях. Одна из конструкций приведена на рисунке 1. Фактически это традиционная структура полевого транзистора с «обратной» засветкой. При этом, в зависимости от свойств материала и используемого спектрального диапазона чувствительности может потребоваться различная толщина материала, что, например, может быть реализовано при полной толщине материала

подложки, или при утончении области полупроводника в зоне оптической чувствительности [2, 4].

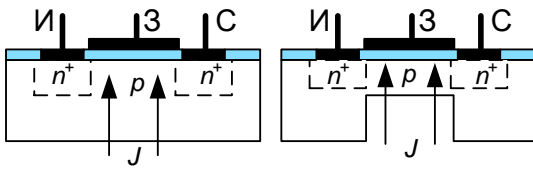


Рисунок 1 – Конструкция полевого фототранзистора

Если активная область обогащена, то фотоэффекты проявляются не будут; фоточувствительность структуры будет наблюдаться только при нахождении активной области в состоянии обеднения. При этом дополнительной подсветкой можно изменять вид спектральной характеристики чувствительности, переключая значение «красной» границы [2, 3]. Еще одним проявлением фоточувствительности сенсорной структуры полевого транзистора является смещение характеристик полевого транзистора (рисунок 2), что приводит к смещению сток-затворной характеристики и изменению значения напряжения отсечки при изменении освещенности активной области. Отметим также, что вывод затвора может быть использован как управляющий электрод, так и как электрод-контакт с исследуемой жидкой средой (биологическим объектом), например, через иммерсионную жидкость [1].

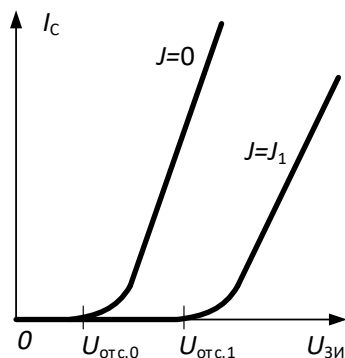


Рисунок 2 – Смещение характеристик полевого фототранзистора при освещении

Таким образом, в представленной структуре реализуется функциональная зависимость умножения преобразовательных характеристик управления проводимостью канала электрическим полем через затвор и управления проводимостью освещением. При этом, крутизна характеристик управления интенсивностью оптического излучения и спектральная характеристика чувствительности, в случае использования полупроводника с

многозарядной примесью, зависит от интенсивности дополнительного управляющего излучения.

Для реализации линейной функции управления энергетической и спектральной характеристиками чувствительности можно использовать управление заселенностью энергетических уровней многозарядной примеси внешним управляющим оптическим излучением методом широтно-импульсной модуляции, причем амплитуда интенсивности управляющего оптического излучения должна быть более верхнего порога управляющей характеристики. Если частота изменения измерительного сигнала не превышает частоты управляющего ШИМ сигнала, то среднее значение коэффициента преобразования полевого фототранзистора будет определяться скважностью управляющего ШИМ сигнала. Применение ШИМ позволяет плавно и по линейному закону изменять наблюдаемое эффективное время жизни носителей заряда, следовательно, и определяемый этим временем параметр преобразовательной характеристики.

Использование структур на основе полупроводникового материала с глубокой многозарядной примесью позволяет формировать функциональные сенсоры с чувствительностью к физическим факторам различной физической природы, [1, 2]. Применение ШИМ регулирования для управления коэффициентами преобразования путем изменения соотношения включенных в работу энергетических уровней в разных зарядовых состояниях позволяет управлять свойствами сенсора непосредственно в чувствительной области приборной структуры [5], что реализует управление во всем возможном диапазоне коэффициентов преобразования без снижения абсолютной чувствительности.

Литература

1. Бурункова, Ю. Э. Сенсорные системы и материалы / Ю. Э. Бурункова, Е. О. Самуйлова. – СПб: Университет ИТМО, 2023. – 117 с.
2. 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.
3. Многопараметрические измерительные преобразователи систем оптической диагностики на основе функциональных датчиков / Р. И. Воробей [и др.] // Не разрушающий контроль и диагностика – 2023. – № 1. – С. 37–45.
4. Масол, И. В. Информационные нанотехнологии / И. В. Масол, В. И. Осинский, О. Т. Сергеев. – Киев: Макрос, 2011. – 560 с.
5. Управление характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядной примесью / Р. И. Воробей [и др.] // Приборостроение: материалы 16 МНТК, Минск, 17–19 ноября 2023 г., БНТУ. – Минск, 2023. – С. 39–40.