

УДК 621. 315. 593

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И МЕХАНИЗМ ПРОТЕКАНИЯ ТОКА В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ p -CdTe-SiO₂-Si С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСНЫМИ УРОВНЯМИ

Н. Жураев¹, М. Халилов¹, С. Отажонов², Н. Алимов¹

¹Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий,

²Ферганский государственный университет

Поступила в редакцию 24.03.2017

Изучено фоточувствительность и механизм протекания тока в низкоразмерных гетероструктурах p -CdTe-SiO₂-Si с глубокими примесными уровнями. Обнаружена пикосекундная фотопроводимость, что свидетельствует о наличии большой концентрации поверхностных рекомбинационных центров в пленках CdTe.

Ключевые слова: пикосекундная фотопроводимость, полупроводниковая пленка, рекомбинация, генерация, фотонапряжение, фоточувствительность.

ФОТОЧУТЛИВІСТЬ І МЕХАНІЗМ ПРОТІКАННЯ СТРУМУ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ p -CdTe-SiO₂-Si З ГЛУБОКИМИ ДОМІШКОВИМИ РІВНЯМИ

Н. Жураєв, М. Халілов, С. Отажонов, Н. Алімов

Вивчено фоточувствительность і механізм протікання струму в низьковимірних гетероструктурах p -CdTe-SiO₂-Si з глибокими домішковими рівнями. Виявлена пікосекундна фотопровідність, що свідчить про наявність великої концентрації поверхневих рекомбінаційних центрів в плівках CdTe.

Ключові слова: пікосекундна фотопровідність, напівпровідникова плівка, рекомбінація, генерация, фотонапруга, фоточутливість.

PHOTOSENSITIVITY AND CURRENT FLOW MECHANISM IN p -CdTe-SiO₂-Si HETEROSTRUCTURES WITH DEEP IMPURITY LEVELS

N. Zhuraiev, M. Khalilov, S. Otazonov, N. Alimov

The photosensitivity and the current flow mechanism in low-dimensional p -CdTe-SiO₂-Si heterostructures with deep impurity levels are studied. A picosecond photoconductivity was detected, which indicates the presence of a large concentration of surface recombination centers in CdTe films.

Keywords: picosecond photoconductivity, semiconductor film, recombination, generation, photovoltage, photosensitivity.

Развитие микро- и нанoeлектроники, новые технологические возможности изготовления сложных полупроводниковых структур стимулируют дальнейшее изучение новых оптических и фотоэлектрических явлений в активных пленочных элементах.

В связи с этим в работе изучены фотопроводимости и механизм протекания тока в низкоразмерных структурах p -CdTe-SiO₂-Si с глубокими примесными уровнями. Поликристаллическая пленка CdTe выращивалась на поверхности гетероструктуры SiO₂-Si.

Измерялось пикосекундное фотонапряжение (ПФН) пленок, сопровождаемое с заметной пикосекундной фотопроводимостью (ПФП). Регистрация ПФН проводилась

в специальном осциллографе С7-19. Образцы возбуждались световым излучением второй гармоники пикосекундного лазера на основе Au-Nd²⁺с длиной первой гармоники $\lambda = 1,079$ мкм; длительность одиночного импульса τ составляла 19 пс. Обнаружена пикосекундная фотопроводимость в тонких пленках CdTe при $(6-8) \times 10^2$ Вт/см² в течение 1–3 минут при комнатной температуре. Образцы представляли собой полупроводник-тонкий диэлектрик-полупроводник (ПТДП) структуры высоколегированного поликристаллического теллурида кадмия p -типа проводимости ($p = 10^{17}$ см⁻³) — двуокись кремния-кремний, легированный бором. Толщина окисного слоя определенная

с помощью Оже-анализа, составляла $d = 0,46$ мкм. Технология изготовления структур описана в работе [1].

Результаты исследования фотопроводимости показывают, что осциллограмма фотосигнала после возбуждения пленки импульсом света длительностью 17 пс, свидетельствует что, во-первых, возгорание максимального ФН (или ФП) происходит, в течение 250–300 пс, во-вторых, основная часть ПФН (или ПФП) спадает за время, менее 100 пс, которое было близко к разрешающей способности регистрирующего прибора (см. рис. 1). Обращает на себя внимание относительно медленное установление максимального ПФН и быстрое спадание его основной части, а затем, относительно долговременный, почти периодически затухающий процесс релаксации ПФН. Такие малые времена релаксации ПФН ($\tau = 10^{-10}$ с) свидетельствуют о наличии большой концентрации рекомбинационных центров в исследованных пленках CdTe.

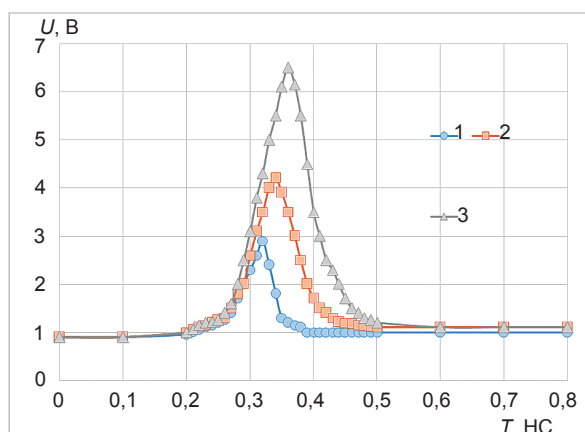


Рис. 1. Зависимость фототока ПТДП структуры $I_{\phi} = \Delta U/R_H$ (где — ΔU падение напряжения на сопротивлении нагрузки) от времени после включения освещения $R_H \geq 2$ кОм; U , В: 1–1,7; 2–3,5; 3–7,0

Если принять, что коэффициент рекомбинации γ равен $\sim 10^{-7}$ см³/с (что обычно свойственно для монокристаллов [2]), то из времени жизни $\tau = 10^{-10}$ с грубо оценим возможную концентрацию центров быстрой рекомбинации $N_{\text{рек.}} = (\tau\gamma)^{-1} \leq 10^{17}$ см⁻³.

Поскольку исследованная пленка состоит из мелких кристаллических зерен размерами $\sim 0,14$ мкм, то можно полагать, что примесными центрами, ответственными за обнаружение быстрой релаксации ПФП,

являются глубокие уровни, имеющиеся на поверхности кристаллита. Тогда находим возможную поверхностную концентрацию центров рекомбинации $N_s = N^{2/3} \approx 3 \times 10^{11}$ см⁻².

В эксперименте отсутствует долговременная релаксация ПФН, типичная для барьерной ФП, что указывает, по-видимому, на быстрый обмен носителя между поверхностными уровнями кристаллитов или на специальный канал (механизм) генерационно-рекомбинационных процессов в области «interfaisе».

Также проведены исследования в пленках CdTe термообработанных в вакууме в течение 1,5 + 2 часов, при $T = 350\text{--}400$ °К. Фоточувствительность в этих пленках увеличивалась до 20 А/В × Дж, а время релаксации было в порядке — (150–200) нс.

Для анализа пикосекундной фотопроводимости обратимся к энергетической диаграмме и эквивалентной схеме ПТДП структуры (см. рис. 2) и будем полагать, что генерация

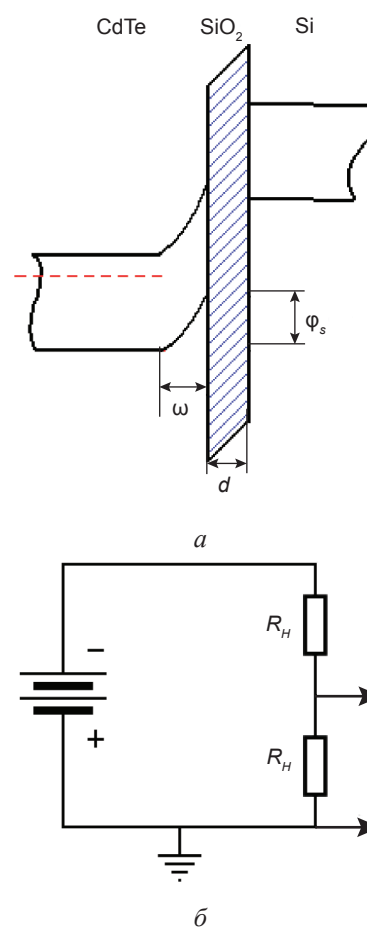


Рис. 2. *a* — энергетическая диаграмма ПТДП структуры, *б* — эквивалентная схема ПТДП структуры в режиме регистрации фотосигнала

неосновных носителей заряда, определяющих фототок, происходит только в CdTe. Справедливость этого допущения основана на том, что генерированные в поликристаллическом кремнии, носители заряда из-за малой толщины окисленного слоя и малого времени жизни носителей заряда в нем не дают существенного вклада в фототок. Поскольку толщина окисленного кремния, в рассматриваемой нами структуре $\approx 0,46$ мкм, то по нашим оценкам, первый вклад в общий поток незначителен (менее 25 %).

При включении импульса излучения фототок, обусловленный разделением носителей заряда в области пространственного заряда кремния, заряжает емкость этого слоя и протекая по внешней цепи, заряжает емкость слоя диэлектрика. При этом создается падение напряжения на сопротивлении нагрузки, которое и регистрируется как фотосигнал.

Отметим характерные особенности кинетики, наблюдаемой в эксперименте. Пик начального участка фронта нарастания увеличивается с увеличением напряжения на электроде. Продолжительность участка также зависит от величины напряжения и растет с его увеличением (см. рис. 1). Время быстрого спада фототока при $R_n \geq 2$ кОм пропорционально сопротивлению нагрузки, дальнейшая длительность периода, соответствующего протеканию сквозного тока через диэлектрик, зависит лишь от длительности импульса излучения.

Проверено исследование спектральной зависимости тока короткого замыкания специально нелегированных и легированных серебром и медью пленок CdTe и установлено, что фотопроводимость в примесной области определяется глубокими примесными уровнями.

Установленные оптические энергии ионизации глубоких уровней в пленках CdTe согласуются с данными, полученными для монокристаллов. Глубокий уровень, расположенный на 0,14–0,17 эВ выше валентной зоны, часто наблюдается в CdTe и считается, что он является комплексом, образованным из двухзарядной вакансии кадмия. Уровни энергии активации, которые равны 0,30–0,35 эВ относительно валентной зоны в CdTe, связываются с примесями Ag и Cu [1].

Полученные результаты указывают на то, что за фоточувствительность в области примесного поглощения в основном ответственны дефекты кристаллической решетки, создающие глубокие уровни, расположенные ниже зоны проводимости.

Таким образом, полупроводниковые пленки $p\text{-CdTe}$ с глубокими примесными уровнями, полученными на окисленных поверхностях кремния можно использовать как быстродействующий фоточувствительный фотодетектор для регистрации пикосекундных импульсов лазерного излучения в близкой ИК-области спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отажонов С. М. Фоточувствительность АФН-пленок в гетероструктуре из CdTe-SiO₂-Si под действием внешнего электрического поля // Физическая инженерия поверхности. — 2004. — Т. 2, № 1–2. — С. 28–31.
2. Баранский П. И., Клочков В. П., Потыкевич В. И. Полупроводниковая электроника. Свойства материалов. Справочник. — К.: Наукова думка, 1975. — 704 с.
3. Отажонов С. М., Усмонов Я. Устройство для деформирования образцов при освещении монохроматическим светом // Патент ИДР. — РУз 2000450, 2002. — 5 с.
4. Каримов М., Султонов Ш. Д. // ФерПИ научно-технический журнал. — 2004. — № 2. — С. 20–23.
5. Боброва Е. А., Клевков Ю. В., Медведев С. А., Плотников А. Ф. Исследование глубоких электронных состояний в текстурированных поликристаллах $p\text{-CdTe}$ стехиометрического состава методом DLTS // ФТП. — 2002. — Т. 36, вып. 12. — С. 1426–1431.
6. Вайткус Ю. Ю., Расулов Р. Я., Отажонов С. М., Орипов У. // «Поверхность» Рентгеновские синхронные и нейтронные исследования АН России. — М.: «Наука». — 1999. — № 3. — С. 44–49.

REFERENCES

1. Otazhonov S. M. Fotochuvstvitel'nost' AFN-plenok v geterostrukture iz SdTe-SiO₂-Si pod dejstviem vneshnego elektricheskogo polya // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. — 2004. — Vol. 2, No. 1–2. — P. 28–31.

2. Baranskij P. I., Klochkov V. P., Potykevich V. I. Poluprovodnikovaya elektronika. Svoystva materialov. Spravochnik. — K.: Naukova dumka, 1975. — 704 p.
3. Otazhonov S. M., Usmonov Ya. Ustrojstvo dlya deformirovaniya obrazcov pri osveschenii monohromaticheskim svetom // Patent IDP. — RUz 2000450, 2002. — 5 p.
4. Karimov M., Sulstonov Sh. D. // FerPI nauchno-tehnicheskij zhurnal. — 2004. — No. 2. — P. 20–23.
5. Bobrova E. A., Klevkov Yu. V., Medvedev S. A., Plotnikov A. F. Issledovanie glubokih elektronnyh sostoyanij v teksturirovannyh polikristallah *p*-CdTe stehiometricheskogo sostava metodom DLTS // FTP. — 2002. — Vol. 36, vyp. 12. — P. 1426–1431.
6. Vajtkus Yu. Yu., Rasulov R. Ya., Otazhonov S. M., Oripov U. // «Poverhnost'» Rentgenovskie sinhronnye i nejtronnye issledovaniya AN Rossii. — M.: «Nauka». — 1999. — No. 3. — P. 44–49.