

УДК 621.315.592: 536.717: 537.33

PACS: 73.40.Kp, 73.21.Ac, 85.60.Gz,
73.40.Qv, 73.61.Ga

Неоднородность темновых токов инфракрасных фотодиодов на основе $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$

Г. Ю. Сидоров, Д. В. Горшков, И. В. Сабина, Ю. Г. Сидоров, В. С. Варавин,
А. В. Предеин, М. В. Якушев, Д. Г. Икусов

Проведен анализ гистограммы темновых токов матриц длинноволновых фотодиодов, изготовленных из гетероэпитаксиальных структур (ГС) $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{ZnTe}/\text{GaAs}(301)$. Максимум гистограммы соответствует диффузионным токам для номинальных фотоэлектрических параметров CdHgTe . Имеются единичные фотодиоды с темновыми токами, на порядки превышающими диффузионный ток. Вероятность их появления связывается с V-дефектами структуры ГС, плотность которых составляет величину порядка 10^3 см^{-2} и которые представляют собой области нарушенной структуры CdHgTe с избытком теллура. Имеется достаточно большое количество диодов (десятки процентов) с повышенными темновыми токами. Исследование C-V-характеристик МДП на ГС показывает наличие положительного заряда, неоднородно распределенного по поверхности и достаточного для инверсии типа проводимости в отдельных областях. Образование шунтирующего слоя n-типа на поверхности должно приводить к увеличению темновых токов фотодиодов, попадающих в такие области.

Ключевые слова: КРТ, CdHgTe , Al_2O_3 , фотодиоды, темновой ток, структурные дефекты, МДП-структура.

Ссылка: Сидоров Г. Ю., Горшков Д. В., Сабина И. В., Сидоров Ю. Г., Варавин В. С., Предеин А. В., Якушев М. В., Икусов Д. Г. // Прикладная физика. 2019. № 3. С. 45.

Reference: G. Yu. Sidorov, D. V. Gorshkov, I. V. Sabinina, Yu. G. Sidorov, V. S. Varavin, A. V. Predein, M. V. Yakushev, and D. G. Ikusov, Prikl. Fiz., No. 3, 45 (2019).

Введение

Развитие инфракрасной техники идет в направлении создания большеформатных

матриц. Разработаны эпитаксиальные методы выращивания высококачественных структур кадмий–ртуть–теллура (КРТ), которые позволили разработать планарную технологию многоэлементных инфракрасных фотоприемников. Важным параметром является дефектность матричного фотодиодного приемника, которая определяется количеством элементов с характеристиками, хуже определенного порога и приводящих к снижению информативности теплового изображения.

Причины, приводящие к дефектности фотодиодов (ФД), могут быть связаны как с объемными свойствами фоточувствительного материала, так и с поверхностными токами утечки. К уменьшению количества работоспособных фотодиодов приводят дефекты фоточувствительного материала, причем проблема дефектности структуры КРТ возросла с ис-

Сидоров Георгий Юрьевич, зав. лаб., к.ф.-м.н.
Горшков Дмитрий Витальевич, м.н.с.
Сабина Ирина Викторовна, с.н.с., к.ф.-м.н.
Сидоров Юрий Георгиевич, гл.н.с., д.ф.-м.н.
Варавин Василий Семёнович, с.н.с., к.ф.-м.н.
Предеин Александр Владиленович, вед. инженер.
Якушев Максим Витальевич, зав. лаб., д.ф.-м.н.
Икусов Данил Геннадьевич, вед. инженер-технолог.
ИФП СО РАН.
Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13.
Тел. +7(383) 330-89-60.
E-mail: George@isp.nsc.ru

Статья поступила в редакцию 23 апреля 2019 г.

© Сидоров Г. Ю., Горшков Д. В., Сабина И. В.,
Сидоров Ю. Г., Варавин В. С., Предеин А. В.,
Якушев М. В., Икусов Д. Н., 2019

пользованием альтернативных подложек для эпитаксии, таких как Si/CdTe [1]. В гетероструктурах (ГС) на подложках с большим расогласованием параметра кристаллических решеток увеличивается плотность дислокаций. Однако исследования показали, что нет прямого соответствия между плотностью ямок травления и электрическими свойствами отдельных диодов [2]. Возможно влияние кластеров дислокаций, в том числе и на токи в соседних диодах. В работе [3] показано, что поверхностный потенциал может менять как природу, так и величину поверхностных токов утечки на несколько порядков. Возникновение поверхностного потенциала может быть вызвано встроенным зарядом в пассивирующем диэлектрическом покрытии Al_2O_3 , выращенной методом атомно-слоевого осаждения.

Цель данной работы – исследовать степень влияния дефектов структуры и неоднородности поверхностного потенциала на дефектность длинноволновых фотодиодов, изготовленных из гетероструктуры $Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te/CdTe/ZnTe/GaAs(301)$.

Гетероструктуры, использованные для изготовления матриц фотодиодов

Для изготовления инфракрасных матричных фотоприемников на длины волн 8–12 мкм использовались гетероэпитаксиальные структуры $Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te/CdTe/ZnTe/GaAs(301)$, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии, с варизонным слоем КРТ с повышенным содержанием CdTe на поверхности. Реальная структура при выращивании КРТ на подложках из арсенида галлия содержит несколько слоев из различных материалов. На обработанную в парах мышьяка подложку наносится тонкий слой ZnTe (200 нм) и затем выращивается буферный слой CdTe толщиной 5–7 мкм [4]. Промежуточные слои теллуридов цинка и кадмия вводятся для сохранения ориентации КРТ в условиях очень большого расогласования параметров решетки (13,6 % для арсенида галлия и КРТ).

Из-за расогласования в объеме эпитаксиальной пленки возникают упругие деформации. Связанная с ними избыточная упругая энергия уменьшается в результате введения дислокаций несоответствия (ДН), которые

формируются в границе раздела. Экспериментальное исследование гетероэпитаксиальных структур $CdTe/ZnTe/GaAs(301)$ методом просвечивающей электронной микроскопии, методом структурно-чувствительного травления по плотности ямок травления (etch pit density – EPD) и рентгеновским методом показало [5], что имеют место скачки плотности дислокаций на гетерограницах ZnTe/GaAs, CdTe/ZnTe и $Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te/CdTe$. По мере роста пленки ZnTe, а затем и CdTe (в гетерогранице ZnTe/CdTe образуются новые ДН) пронизывающие участки дислокаций удлиняются, при этом у них увеличивается возможность взаимодействия друг с другом, вследствие чего между дислокациями облегчено протекание различных реакций.

Исследование EPD-пленок CdTe(013), выращенных на подложках из арсенида галлия, обнаруживает снижение плотности пронизывающих дислокаций по толщине пленки. При увеличении толщины пленки CdTe от 2 мкм до 7 мкм плотность дислокаций спадает на порядок величины, а именно, с $2 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$ до $2 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$. Следует иметь в виду, что хотя несоответствие параметров решетки CdTe и $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ относительно невелико, его достаточно для формирования пронизывающих дислокаций с плотностью, превышающей их плотность в буферном слое CdTe. Вследствие этого плотность пронизывающих дислокаций в активной области фотодиодов определяется в основном сеткой дислокаций несоответствия, формирующейся на гетерогранице $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te/CdTe$. По мере роста пленки КРТ до толщины 5 мкм плотность пронизывающих дислокаций в ней падает до величин на уровне $2,5 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$. Для дальнейшего снижения плотности пронизывающих дислокаций нужно или существенно увеличивать толщину слоя КРТ, поскольку плотность дислокаций снижается с увеличением толщины слоя, что, однако, создает проблемы для метода МЛЭ, или использовать циклический пост-ростовой отжиг [5, 6], в котором температура образца меняется от 300 °С до 500 °С при постоянном давлении паров ртути. При циклическом изменении температуры активности компонентов КРТ меняются таким образом, что облегчается неконсервативное движение дислокаций. Однако рентгеновскими исследова-

ниями было установлено [5], что при циклическом отжиге варизонные слои КРТ, предназначенные для снижения поверхностной рекомбинации, размываются диффузией и в настоящей работе циклический отжиг использован не был.

Характерные прорастающие дефекты, называемые в ряде работ «пустотами» или «поверхностными кратерами», обычно наблюдаются на поверхности пленок твердых растворов теллуридов кадмия и ртути, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Поперечные размеры этих дефектов обычно увеличиваются с толщиной пленки КРТ, напоминая латинскую букву V. Поэтому в работе [7] эти прорастающие дефекты назвали V-дефектами (далее ПВД). Попадая в активную область фотоприемных элементов, эти дефекты могут ухудшать характеристики приборов.

Метрика гетероэпитаксиальных структур КРТ включает измерение плотности ПВД и распределения их по размерам. Характерная плотность ПВД в использованных для изготовления матричных инфракрасных фотодиодов составляет 10^3 см^{-2} . Причиной образования ПВД является то, что активность теллура в системе выращивания $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ методом МЛЭ, как показывают термодинамические расчеты, достаточна для образования фазы элементарного теллура [7]. Исследования структуры пленок $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) [7] показали, что ПВД являются сложными образованиями, содержащими двойниковые ламели, дефекты упаковки (ДУ) и области нарушенной структуры с повышенным содержанием теллура. В центральной области ПВД формируется рыхлое поликристаллическое образование с избытком теллура. Размеры ПВД определяются ДУ, разрастающимися по плоскостям $\{111\}$.

Технология изготовления фоточувствительных элементов

Базовая технология изготовления фоточувствительных элементов (ФЧЭ) формата 320×256 с шагом 30 мкм включает отжиг гетероэпитаксиальных структур КРТ при $220 \text{ }^\circ\text{C}$

при минимальном давлении паров ртути для перевода пленок КРТ в вакансионный p -тип проводимости с концентрацией дырок $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и нанесение пассивирующего диэлектрика. В качестве пассивирующего диэлектрика использовался Al_2O_3 , выращенный методом атомно-слоевого осаждения. Затем проводилось вскрытие окон в диэлектрике, формирование p - n -переходов имплантацией ионов бора и осаждение индиевых столбов для формирования микроконтактов к областям диодов электронного типа проводимости.

После этого зондом при температуре 77 К измерялись вольтамперные характеристики (ВАХ) на случайной выборке не менее чем 100 отдельных фотодиодов, что позволяло судить о качестве матриц.

Результаты и обсуждение

Типичная ВАХ фотодиода матрицы в отсутствие засветки (формата 320×256 , шаг 30 мкм, $x = 0,226$) представлена на рис. 1.

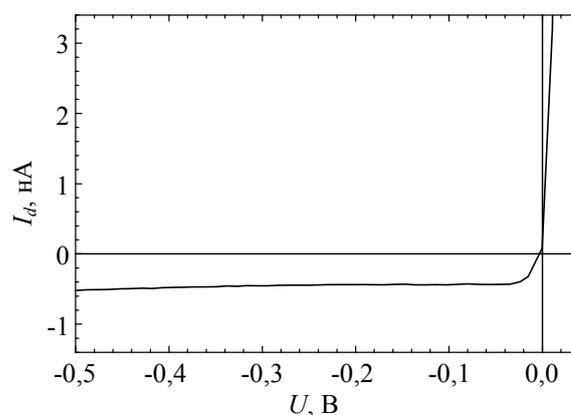


Рис. 1. Типичная темновая вольт-амперная характеристика диода матрицы с шагом 30 мкм для $x = 0,226$.

Темновой ток складывается из следующих компонентов, соответствующих разным механизмам протекания тока: диффузионного тока, достигающего насыщения при небольших обратных смещениях, генерационно-рекомбинационного тока, в основном происходящего из обедненного слоя и поэтому пропорционального примерно корню квадратному из приложенного запорного напряжения, туннельных токов, экспоненциально растущих с приложенным напряжением и тока через

шунт на поверхности или в объеме, определяемого сопротивлением шунта и примерно пропорционального приложенному напряжению.

Из экспериментальной ВАХ (рис. 1), следует, что ток диода резко нарастает до напряжений примерно $-0,02$ В, а затем увеличивается с меньшей скоростью из-за вклада генерационно-рекомбинационного тока. При напряжениях $-0,02 \div -0,50$ В основным компонентом является диффузионный ток с небольшим вкладом генерационно-рекомбинационного тока. Туннельные токи «зона-зона» и через глубокие уровни ощутимого вклада не дают. Поэтому можно ожидать, что на диаграмме гистограммы темновых токов при обратных смещениях $-0,2$ В будет наблюдаться узкий пик диффузионного тока, ширина которого будет соответствовать неоднородности параметров пленки КРТ по пластине (в пределах $\pm 15\%$). Однако при измерении ВАХ диодов изготовленных матриц наблюдается разброс темновых токов диодов как в одной матрице, так и между диодами матриц, изготовленных из одной гетероэпитаксиальной пластины. На рис. 2 представлена гистограмма результатов измерения темновых токов при смещении $-0,2$ В на случайной выборке 725 диодов десяти матриц формата 320×256 .

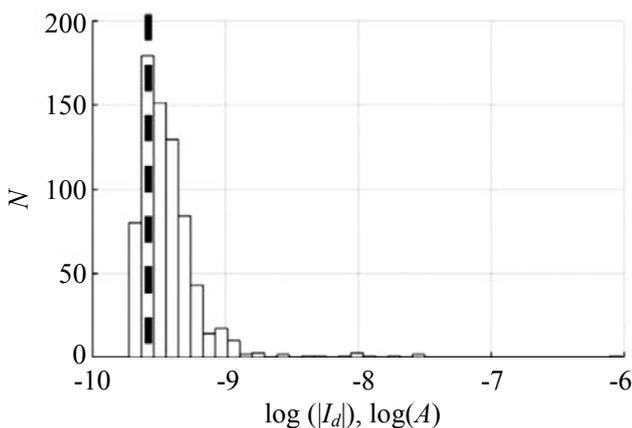


Рис. 2. Гистограмма темновых токов. Жирная пунктирная линия показывает рассчитанное значение диффузионного тока.

На рис. 2 жирной пунктирной линией показан рассчитанный диффузионный ток для номинальных электрофизических параметров фоточувствительного слоя и использованной геометрии фотодиода. Виден максимум гисто-

граммы вблизи значения темнового тока, соответствующего диффузионному току, и затянутый спад количества диодов с увеличивающимися токами. Также наблюдаются отдельные диоды с токами на порядки более высокими. Некоторый разброс параметров по пластине (в пределах $\pm 15\%$) должен приводить к достаточно узкому пику диффузионного тока, и затянутый спад на гистограмме не может быть объяснен неоднородностью параметров КРТ. Величина использованного смещения $-0,2$ В не должна была приводить к ощутимым токам по другим механизмам – генерационно-рекомбинационному и туннельным.

В первую очередь возникает вопрос: вызваны ли токи утечки объемом КРТ или поверхностью? По площади пластины наблюдается некоторое изменение состава КРТ – оно может достигать величины $\Delta x = 0,005$. Распределение состава по площади пластин гетероструктур, используемых для изготовления диодов, известно, поскольку измерение состава по площади пластин включено в метрику пластин. Также известно, из какой части пластины изготовлена каждая матрица. Корреляции между количеством диодов с повышенными темновыми токами и составом пленки КРТ не наблюдается. Попытки выяснить природу токов утечки измерениями диодов разного размера не дали отчетливых результатов: токи утечки росли с увеличением размера диодов, но рост не подчинялся ни линейной, ни квадратичной зависимости. Возможно, сказывается неоднородность токов диодов одинакового размера, и для получения более однозначных результатов требовался бóльший объем измерений.

Отдельного рассмотрения заслуживают диоды с повышенными темновыми токами в диапазоне $10^{-6} \div 10^{-8}$ А. Как уже указывалось, в гетероэпитаксиальных слоях КРТ на подложках из GaAs наблюдаются ПВД, прорастающие на всю глубину пленки КРТ и представляющие собой области нарушенной структуры с избыточным теллуром. Попадая в область $p-n$ -перехода, эти дефекты создадут проводящий шунт. Для того чтобы оценить возможный вклад ПВД в дефектность матричных ФП, можно провести оценочный расчет, поскольку метрика гетероэпитаксиальных структур КРТ

включает измерение плотности ПВД и распределения их по размерам. На следующем рисунке представлены результаты измерения зависимости плотности ПВД для первого образца от их размера. Общая плотность ПВД всех размеров составляет 1123 см^{-2} .

Доля диодов P_i , на характеристики которых могут повлиять дефекты размера d_i , равна $P_i = (S_i/L^2) \times (\rho_i/N) \times 100 \%$, здесь L – шаг матрицы, мкм; $S_i = \pi \times (d_d + d_i)^2 / 4$ – площадь для дефекта размером d_i в которую должен попасть центр дефекта, чтобы повлиять на характеристики диода, мкм²; d_d – диаметр p – n –перехода, мкм; ρ_i – плотность дефектов данного размера, см⁻²; N – плотность пикселей в матрице, см⁻². Поскольку $N = 10^8/L^2$, где L в микронах, окончательно получаем:

$$P_i = (S_i \times \rho_i / 10^8) \times 100 \%. \quad (1)$$

Суммируя по дефектам всех размеров, получим общую долю дефектных диодов $P = \sum P_i$.

На рис. 3 звездочками показаны результаты расчета доли дефектных диодов в зависимости от размера дефектов для первого образца, причем гистограмма распределения плотности дефектов от размера показана кружками.

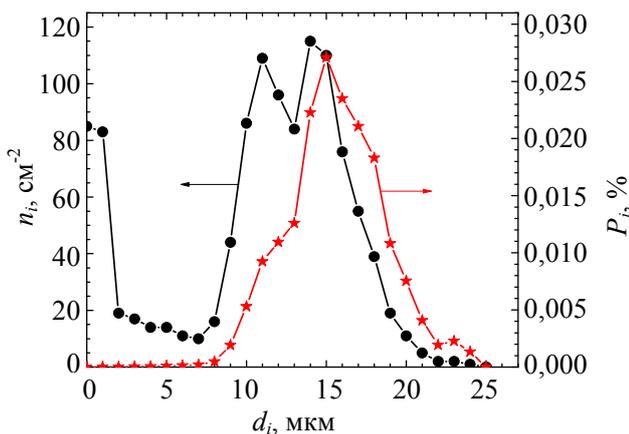


Рис. 3. Гистограмма распределения плотности дефектов (кружки) и вероятности дефектности фотодиодов (звездочки) от их размера.

При расчете шаг матрицы принят равным 30 мкм, а диаметр p – n –перехода – 10 мкм. Рассчитанное суммарное количество дефектных диодов от ПВД всех размеров составляет 0,18 % при плотности ПВД 1123 см^{-2} . Прове-

денный оценочный расчет показывает, что при плотности V-дефектов на уровне 10^3 см^{-2} они могут увеличить долю неработоспособных элементов лишь на уровне нескольких десятых процента. Можно предположить, что наличие диодов с темновыми токами, на порядки превышающими токи в районе максимума гистограммы на рис. 2, связано именно с влиянием структурных дефектов КРТ. Влияние ПВД снижается при уменьшении их размеров и диаметра p – n –перехода. Для снижения дефектности до сотых долей процента плотность ПВД должна быть снижена до величины порядка 10^2 см^{-2} .

Для исследования возможности утечек по поверхности, например, вследствие инверсии типа проводимости поверхностного слоя, целесообразно было бы провести измерения поверхностного заряда использованных гетероструктур из вольт-фарадных характеристик (ВФХ). Однако наличие варизонных слоев в гетероструктурах, из которых изготавливались фотодиоды, затрудняет корректное определение поверхностного заряда по обычно используемым методикам. К варизонной структуре неприменимо выражение «плоские зоны», так как положение краев валентной зоны и зоны проводимости на зонной диаграмме зависит от состава. Поэтому проводились измерения ВФХ МДП на структурах со слоями КРТ постоянного состава $x = 0,226$, прошедшими те же самые технологические операции обработки поверхности, в том числе и нанесение диэлектрика, что и при изготовлении фотодиодов.

На рис. 4 представлены измеренные ВФХ на частоте 10 кГц 18-ти изготовленных МДП-структур из слоев КРТ постоянного состава с $x = 0,226$, а также рассчитанная ВФХ идеальной МДП-структуры для такого же состава. Горизонтальная линия показывает емкость, при которой зоны на поверхности становятся плоскими. Сдвиг экспериментальной зависимости относительно идеальной означает наличие поверхностного заряда. Для плоских зон разброс составляет $-0,57 \div -0,40 \text{ В}$. Это позволяет определить поверхностный заряд при плоских зонах. Емкость диэлектрика измеренного образца составляла 180 пФ, что дает плотность положительного поверхностного заряда в интервале $4 \times 10^{-8} \div 6 \times 10^{-8} \text{ Кл см}^{-2}$.

Расчет показывает, что уже при поверхностном заряде больше 3×10^{-8} Кл см⁻² мы должны иметь слой *n*-типа на поверхности КРТ. Поверхностный заряд складывается из фиксированного заряда и заряда на поверхностных состояниях. Если считать весь заряд фиксированным, то при нулевом смещении на поверхности КРТ должна иметь место инверсия типа проводимости. При наличии поверхностных состояний, поверхностный заряд должен быть меньше.

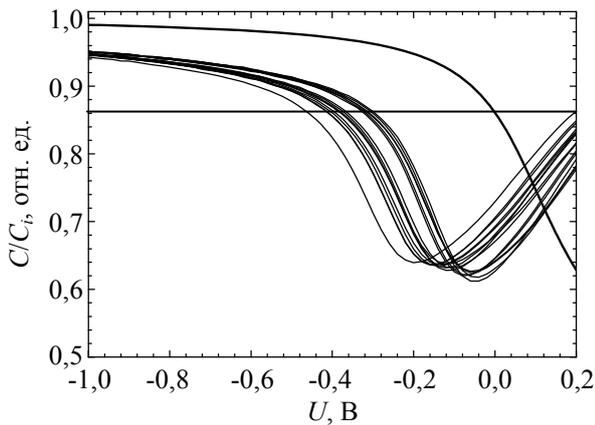


Рис. 4. Измеренные ВФХ на частоте 10 кГц МДП-структур на слое КРТ постоянного состава с $x = 0,226$ и ВФХ идеальной МДП-структуры с $x = 0,226$ – жирная линия. Горизонтальная линия показывает емкость идеальной МДП-структуры при плоских зонах.

В работе [8] проведен расчет ВФХ идеальных МДП-структур КРТ *p*-типа проводимости с варизонными слоями $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, аналогичными использованным в данной работе. Положение плоских зон таких структур близко к положению плоских зон КРТ без варизонных слоев, имеющих такую же концентрацию дырок. Поэтому будем оценивать величину заряда, накопленного в МДП-структуре, по сдвигу экспериментальной *C-V*-характеристики относительно идеальной при $V_g = 0$, как это сделано в работе [9].

Измерения ВФХ на различных участках образца с варизонным слоем (см. рис. 5) также дают несколько отличающиеся значения напряжения плоских зон и соответственно поверхностного заряда, но знак поверхностного заряда остается положительным.

Следует сказать, что структуры КРТ с содержанием теллурида кадмия вблизи 40 % имеют на ВФХ гистерезис, растущий с увели-

чением диапазона напряжений смещения. Поэтому для уменьшения гистерезиса измерение ВФХ для КРТ с варизонными слоями проводилось в узком диапазоне напряжения смещения, так что измеренные емкости не всегда достигали значений, соответствующих плоским зонам. Тем не менее можно утверждать, что и в этом случае присутствует неоднородный по поверхности положительный заряд величиной порядка 4×10^{-8} Кл см⁻².

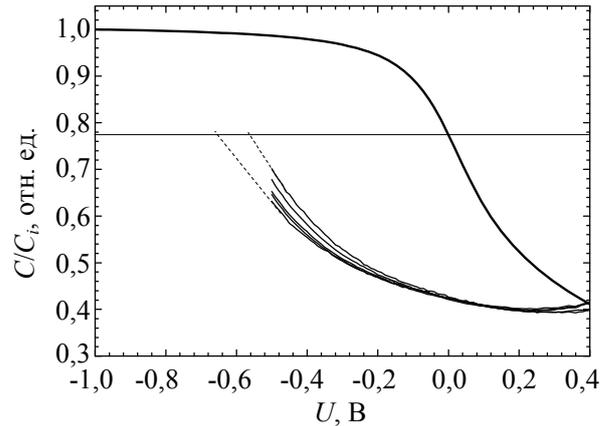


Рис. 5. Измеренные ВФХ на частоте 10 кГц МДП-структур на разных участках гетерозипитаксиальной пластины с варизонным слоем и ВФХ идеальной МДП-структуры – жирная линия. Горизонтальная линия показывает уровень емкости при плоских зонах.

Таким образом, измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ) образцов, использованных для изготовления фотодиодов показывают, что на поверхности КРТ, в оксиде КРТ или в диэлектрике, присутствует положительный заряд, причем величина его достаточна, чтобы могло иметь место обеднение и даже инверсия типа проводимости. При изготовлении диодов на такой структуре можно ожидать большие токи утечки в местах, где образовался слой с инверсией проводимости.

Из полученных результатов следует, что состояние поверхности КРТ может влиять на заряд поверхности и поверхностные токи утечки фотодиодов. Для проверки этого заключения была изменена процедура подготовки поверхности КРТ перед нанесением диэлектрика – гетерозипитаксиальная пластина была выдержана в парах перекиси водорода. Как показано в работе [10], такая обработка приводит к увеличению толщины собственного оксида КРТ. Гистограмма темновых токов

фотодиодов, изготовленных из образца, подвергнутого дополнительному окислению, представлена на следующем рис. 6.

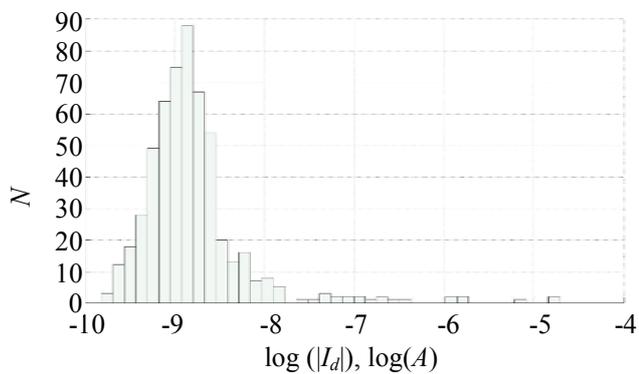


Рис. 6. Гистограмма темновых токов фотодиодов, изготовленных из гетероэпитаксиальной пластины с дополнительным окислением поверхности КРТ.

При сравнении рис. 6 и рис. 2 отчетливо видно увеличение темновых токов в несколько раз при дополнительном окислении КРТ. Поскольку для изготовления фотодиодов использовались гетероэпитаксиальные пластины с одинаковыми параметрами, включая состав рабочего слоя КРТ ($x = 0,226$), то невозможно приписать увеличение величины темновых токов образца с дополнительным окислением поверхности КРТ объемным свойствам КРТ. На поверхности использованных пластин КРТ всегда имеется слой собственного окисла. Возможно, неоднородный заряд дополнительно окисленной поверхности КРТ приводил к затянутому «хвосту» количества фотодиодов с повышенными темновыми токами, наблюдающемуся в изготовленных фотоприёмных матрицах, показанному на рис. 2.

Заключение

На гистограмме темновых токов матричных длинноволновых фотодиодов, изготовленных из гетероэпитаксиальных структур $Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te/CdTe/ZnTe/GaAs(301)$, наблюдается пик, соответствующий диффузионным токам. На единичных диодах темновые токи на порядки превышают величину диффузионного тока. V-дефекты гетероэпитаксиальных структур, попадая в p-n-переходы, могут приводить к повышенным токам утечки. Расчеты показывают, что вероятность появления таких диодов не превышает десятых долей процента при плотности V-дефектов на уровне 10^3 см^{-2} .

Скорее всего, появление единичных диодов с высокими темновыми токами связано с наличием V-дефектов.

Существует довольно большое количество фотодиодов (на уровне десятков процентов), у которых темновой ток в несколько раз превышает диффузионный ток для номинальных параметров плёнки КРТ и не может быть объяснен неоднородностью параметров плёнки КРТ. Исследования C-V-характеристик МДП-структур на гетероструктурах, аналогичных использованным для изготовления матричных фотоприемников, показали наличие неоднородности поверхностного заряда на КРТ на уровне $(3\div 6)\times 10^{-8} \text{ Кл см}^{-2}$. Такого заряда достаточно для обеднения и даже инверсии p-типа на поверхности КРТ. У фотодиодов, попадающих на участки поверхности с инвертированным типом проводимости, возникает поверхностный канал утечки по n-слою. Определяющее влияние поверхности на избыточные токи утечки показал эксперимент с дополнительной обработкой поверхности гетероструктуры парами перекиси водорода перед нанесением диэлектрика – максимум гистограммы сместился почти на порядок в сторону более высоких значений темновых токов.

Авторы выражают благодарность Косулиной И. Г. за проведение измерений ВАХ фотодиодов и Ковчавцеву А. П. за критическое рассмотрение предлагаемой работы.

Работа поддержана проектом РНФ-18-72-00038.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brill G., Chen Yu., Wijewarnasuriya P., Dhar N. // Proc. of SPIE. 2009. Vol. 7419. P. 74190L-1.
2. Benson J. D., Bubulac L. O., Smith P. J., Jacobs R. N., Markunas J. K., Jaime-Vasquez M., Almeida L. A., Stoltz A. J., Wijewarnasuriya P. S., Brill G., Cyen Y., Lee U., Vilela M. F., Peterson J., Johnson S. M., Lofgreen D. D., Rhiger D., Pattem E. A., Goetz P. M. // J. Electronic Materials. 2010. Vol. 39. No. 7. P. 1080.
3. Kai He, Song-Min Zhou, Yang Li, Xi Wang, Peng Zhang, Yi-Yu Chen, Xiao-Hui Xie, Chun Lin, Zhen-Hua Ye, Jian-Xin Wang, Qin-Yao Zhang // J. Appl. Phys. 2015. Vol. 117. No. 20. P. 204501.

4. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I., Mikhailov N. N., Sidorov Yu. G. // J. Crystal Growth. 1996. Vol. 159. No. 1–4. P. 1161.

5. Sidorov Yu. G., Yakushev M. V., Varavin V. S., Kolesnikov A. V., Trukhanov E. M., Sabinina I. V., Loshkarev I. D. // Physics of the Solid State. 2015. Vol. 57. No. 11. P. 2151.

6. Chen Y., Farrell S., Brill G., Wijewarnasuriya P., Dhar N. // J. Crystal Growth. 2008. Vol. 310. No. 23. P. 5303.

7. Sabinina I. V., Gutakovsky A. K., Sidorov Yu. G., Latyshev A. V. // J. Crystal Growth. 2005. Vol. 274. No. 3–4. P. 339.

8. Предеин А. В., Васильев В. В. // Прикладная физика. 2011. № 5. С. 41.

9. Kovchavtsev A. P., Sidorov G. Yu., Nastovjak A. E., Tsarenko A. V., Sabinina I. V., Vasilyev V. V. // J. Appl. Phys. 2017. Vol. 121. No. 12. P. 125304.

10. Сидоров Г. Ю., Швец В. А., Сидоров Ю. Г., Варавин В. С. // Автометрия. 2017. Т. 53. № 6. С. 97.

PACS: 73.40.Kp, 73.21.Ac, 85.60.Gz,
73.40.Qv, 73.61.Ga

Inhomogeneity of infrared photodiodes dark currents based on $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.78}\text{Te}$

G. Yu. Sidirov, D. V. Gorshkov, I. V. Sabinina, Yu. G. Sidorov, V. S. Varavin,
A. V. Predein, M. V. Yakushev, and D. G. Ikusov

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS
13 Lavrentieva pr., Novosibirsk, 630090, Russia
E-mail: George@isp.nsc.ru

Received April 23, 2019

Histogram of dark currents of long-wave photodiodes matrices made of heteroepitaxial structures $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.78}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{ZnTe}/\text{GaAs}(301)$ was analyzed. The maximum of the histogram corresponds to diffusion currents for the nominal photoelectric parameters of CdHgTe . There are single photodiodes with dark currents which are orders of magnitude higher than the diffusion current. The probability of their appearance is associated with V-defects of the HS structure, whose density is of the order of magnitude and which are regions of a damaged CdHgTe structure with an excess of tellurium. There is a fairly large number of diodes (tens of percent) with slightly increased dark currents. Investigation of the C-V characteristics of the MIS on the HS shows the presence of a non-uniformly distributed positive charge which is sufficient for inversion of the conductivity type in certain areas. The formation of n-type shunt layer on the surface should lead to an increase in the dark currents of the photodiodes located in such areas.

Keywords: MCT, CdHgTe , Al_2O_3 , photodiode, dark current, structural defects, MIS structure.

REFERENCES

1. G. Brill, Yu. Chen, P. Wijewarnasuriya, and N. Dhar., Proc. of SPIE **7419**, 74190L-1 (2009).
2. J. D. Benson, L. O. Bubulac, P. J. Smith, et al., J. Electron. Mater. **39**, 1080 (2010).
3. Kai He, Song-Min Zhou, Yang Li, Xi Wang, et al., J. Appl. Phys. **117**, 204501 (2015).
4. V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, V. I. Liberman, N. N. Mikhailov, and Yu. G. Sidorov, J. Crystal Growth. **159**, 1161 (1996).
5. Yu. G. Sidorov, M. V. Yakushev, V. S. Varavin, et al., Physics of the Solid State **57**, 2151 (2015).
6. Y. Chen, S. Farrell, G. Brill, P. Wijewarnasuriya and N. Dhar., J. Crystal Growth. **310**, 5303 (2008).
7. I. V. Sabinina, A. K. Gutakovsky, Yu. G. Sidorov, and A. V. Latyshev, J. Crystal Growth. **274**, 339 (2008).
8. A. V. Predein and V. V. Vasilyev, Prikl. Fiz., No. 5, 41 (2011).
9. A. P. Kovchavtsev, G. Yu. Sidorov, A. E. Nastovjak, et al., J. Appl. Phys. **121**, 125304 (2017).
10. G. Yu. Sidorov, V. A. Shvets, Yu. G. Sidorov, and V. S. Varavin, Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing **53**, 617 (2017).