

13. Смирнов А.О. Эллиптические нелинейного уравнения Шредингера и модифицированного уравнения Кортевега-де Фриза // Матем. сб., 185:8(1994), 103-114.
14. Trubowitz E. The inverse problem for periodic potentials. // Comm. Pure. Appl. Math., -New York, 1977. v.30. p.321-337.
15. Хасанов А.Б., Ибрагимов А.М. Обратной задаче для оператора Дирака с периодическим потенциалом. // Узб. матем. журн., 2001, №3-4., -С. 48-55.
16. Хасанов А.Б., Яхшимуратов А.Б. Аналог обратной теоремы Г.Борга для оператора Дирака. // Узб. матем. журн., 2000, №3-4.
17. Яхшимуратов А.Б., Хасанов М.М., Янгибаева Р. Об одном аналоге обратной теоремы Борга для системы уравнений Дирака. // Илм сарчашмалари. –Ургенч: 2019, №1, -С.11-16.

Ushbu maqolada teskari spektral masalalar usulida yuklangan hadli modifissirlangan Korteveg-de Friz tenglamasi davriy funksiyalar sinfidagi integrallangan.

РЕЗЮМЕ

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются уравнения Кортевега-де Фриза полученные методом обратной спектральной задачи в классе периодических функций.

SUMMARY

In the article the method of the inverse spectral problem is applied to the integration of the modified Korteweg-de Vries equation in the class of periodic functions.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА МДП СТРУКТУР

Б.К.Исмаилов – докторант

А.К.Бижанов - ассистент преподаватель

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Р.А.Аметов – ассистент преподаватель

П.К.Нурниязов – магистрант

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: МДП конструкции, гидростатик босим, Шоттки диоды.

Ключевые слова: МДП конструкцию, гидростатическое давление, диод Шоттки.

Key words: MDS construction, hydrostatic pressure, Schottky diode.

Введение: В настоящее время большинство полупроводниковых приборов и конструкционные элементы интегральных микросхем (ИС) с участием кремния на основе металл-диэлектрик-полупроводниковые (МДП) конструкции, характеристики границы раздела полупроводник-диэлектрик (ПД) могут значительно влияют на параметры производимого устройства и конструктивные элементы [1].

Существует целый ряд работ (см., например, [2]) посвященный исследованию влияния такого внешнего действия как термическая обработка и γ -облучение на параметры интерфейсов. Что касается влияния давления, то имеющиеся работы имеют дело преимущественно с анализом изменение объемных свойств в слоях МДП конструкции [3-6]. Авторы [3-5] рассказали изменение параметров в МДП-конструкциях, подвергнутых одноосное упругое напряжение для изменения концентрации и подвижность основных носителей заряда в полупроводниках. В [6] наблюдаются вариации релаксации характеристики под давлением были связаны с производством центров дефектов в изоляционных слоях, а в [7] эти характеристики были объяснены с точки зрения кристаллографическая ориентация полупроводникового кристалла. Целью этой работы было исследование влияние гидростатического давления (ВД) на плотность состояния электрона локализованные на интерфейсе кремний-кремний оксид.

Исследуемые конструкции были подготовлены на основе кристаллического кремния n -типа с удельной сопротивлением $\rho=4,5$ Ом·см с кристаллографической ориентацией (100), которая чаще всего используется в микроэлектронике. Диффузионное легирование кремния никелем было сделано (при температуре $T=1000\div1200$ °С в течение $t=1\div2$ ч) из металлического никеля, нанесенного на поверхность материала кремния.

Примесь никель была выбрана потому, что ее введение влияет на плотность распределения поверхностных состояний на E_g кремния [8].

Слой кремниевого оксида (толщина $0,2\div0,3$ мкм) выращен с использованием термического окисления кремниевых пластин ($T=800\div900$ °С в течение $t=30\div40$ мин) в хлорсодержащем среда. Конструкция МДП были подготовлены с использованием вакуумное осаждение алюминия на диоксид кремния поверхность. Диаметр контрольного электрода составлял 3 мм, изготовленные

конструкции подвергались гидростатическому давлению до $2\div8$ кбар (с шагом 2 кбар и удержанием интервал $15\div20$ мин) с использованием установки, аналогичной описанной в [9]. Уровни энергии никеля в кремнии были идентифицируется с помощью процедуры, описанной в [10]. К этому в конце концов, мы сделали Au- n -Si (Ni) диоды Шоттки, используя химическое удаление слоя SiO_2 и осаждение вакуума Au.

Метод исследования: Напишем условие электронеутральности констук-ции МДП:

$$kqNx + Q_p + Q_{ss} = Q_{cs} \quad (1)$$

где k - площадь омического контакта, q - заряд электрона, $N = N_m$ - концентрация мелкой легирующий примеси, x - ширина области пространственного заряда (ОПЗ), Q_p - заряд инверсионного слоя, Q_{ss} - заряд поверхностных состояний, Q_{cs} - заряд на затворе конструкции МДП.

Продифференцировав правую и левую часть уравнения (3) по времени t , получим выражение описывающее изменение заряда во времени:

$$kqN \frac{dx}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} + \frac{dQ_{ss}}{dt} = \frac{dQ_{cs}}{dt} \quad (2)$$

Так как в процессе релаксации заряд на металлическом электроде не изменяется ($\frac{dQ_{cs}}{dt} = 0$), то выражение (2) будет выглядеть так:

$$kqN \frac{dx}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} + \frac{dQ_{ss}}{dt} = 0 \quad (3)$$

Изменение заряда инверсионного слоя можно записать в виде: $\frac{dQ_p}{dt} = Aqkx$, где A - скорость генерации

носителей заряда в объеме полупроводника, а изменение заряда поверхностных состояний $\frac{dQ_{ss}}{dt} = Sqk$, где S

- скорость поверхностной генерации носителей заряда. С учетом этих обозначений уравнение (3) примет вид:

$$kqN \frac{dx}{dt} + Aqkx + Sqk = 0 \quad (4)$$

или, после упрощений:

$$-\frac{dx}{dt} = \frac{A}{N}x + \frac{S}{N} \quad (5)$$

Это уравнение представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка. Решив его относительно x , получим:

$$x = C \exp\left(-\frac{A}{N}t\right) - \frac{S}{A} \quad (6)$$

где C - постоянная интегрирования. Для ее определения воспользуемся начальным условием $x(t=0) = x_0$ - значение ширины ОПЗ в начале процесса релаксации. Тогда решение (6) примет вид:

$$x = \left(x_0 + \frac{S}{A}\right) \exp\left(-\frac{A}{N}t\right) - \frac{S}{A} \quad (7)$$

Полученную расчетную временную зависимость ширины ОПЗ можем применить для обозначения скорости поверхностной и объемной генерации носителей заряда при сравнении её с экспериментальной зависимостью. Используя общепринятую модель конструкции МДП, можно показать, что временная зависимость измеряемой емкости (без учета влияния формирующегося заряда инверсионного слоя) в следующем виде:

$$C(t) = \frac{\epsilon \epsilon_0 K C_d}{K + x(t) C_d} \quad (8)$$

K - площадь управляющего электрода, C_d - емкость слоя диэлектрика, ϵ - диэлектрическая проницаемость полупроводника, ϵ_0 - электрическая постоянная.

Величина C_d определяется по высокочастотной вольт-фарадной характеристике, величину $C(t)$ можно найти для каждого момента времени t из экспериментальной релаксационной характеристики конструкции МДП.

Результаты и обсуждение: На рис. 1 показано экспериментальная (1^1) измеренный при $\nu = 250$ кГц и температура $t = -15$ °C и теоретическая (1^2) кривые зависимости $C(t)$ для одного из контрольных образцов Al - n - Si (Ni) - SiO₂ - Al конструкция полученные после включения напряжения $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1 = 7$ В, $V_2 = 14$ В).

Значения объемные (A) и поверхностные (S) скорости генерации были определяются с помощью формул (7) и (8), применяя метод оптимальной подгонки: $A = 9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$, $S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$. При указанных значениях A и S , расчетная зависимость релаксации емкости полностью соответствовали с экспериментальными зависимостями. Отклонение расчетной зависимости от экспериментальной, в конце процесса релаксации, обусловлено влиянием растущего слоя инверсионного заряда и увеличением вероятности обратного захвата генерированных носителей заряда.

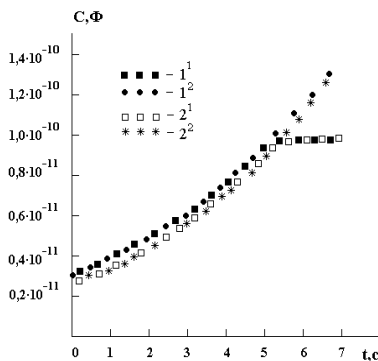


Рис.1. Экспериментальные ($1^1, 2^1$) и теоретические ($1^2, 2^2$) зависимости релаксации емкости исследуемых конструкции (1^1 и 1^2 - контрольные, $2^1, 2^2$ - подвергнутые давлению).

Зависимости (2^1) и (2^2), измеренные при аналогичных условиях, соответствуют образцу, подвергнутому всестороннему гидростатическому сжатию до давлений 8 кБар. Можно увидеть из рис.1, что расчетная кривая (2^2) находится в хорошем согласии с экспериментальной (2^1) при $A = (8 \div 9) \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$, $S = (1 \div 2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Мы рассматривать это как указание на то, что при значениях давления, концентрации и энергии распределение примесных центров никеля практически не изменяется, в то время как снижение скорости генерации поверхности из-за изменения плотности поверхностных состояний. Для подтверждения этого предположения со конструкции, подвергнутых воздействию давления, химическим способом (обработка в парах плавиковой кислоты) удалялся поверхность кремниевого оксида и при помощи вакуумного осаждения Au (без подогрева подложки) изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si<Ni>. Далее, при помощи метода изотермической релаксации емкости [14] идентифицировалась примесь никеля и определялась ее концентрация. Анализ полученных результатов показал следующее. Во всех диодах Шоттки, как в контрольных, так и в изготовленных на пластинах подвергавшихся давлению, энергетическое положение примеси никеля ($E_C - 0.35 \pm 0.031$ эВ и $E_V + 0.23 \pm 0.032$ эВ) и ее концентрация ($n = (3 \div 5) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$) практически не изменялись (разброс этих значений для различных диодов составлял $5 \div 7$ %), что лежит в пределах ошибки эксперимента.

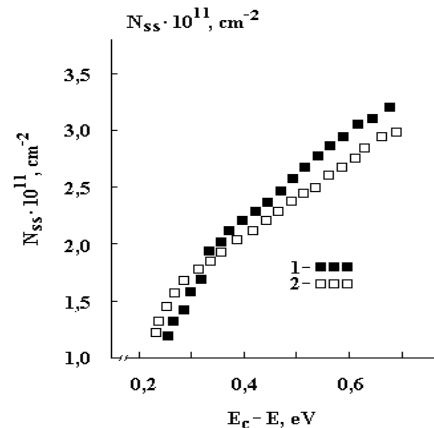


Рис. 2. Распределения интегральной плотности поверхностных состояний для исследованных конструкции (1- контрольная конструкции, 2- конструкция подвергнутая давлению в 8 кБар)

Непосредственное измерение плотности поверхностных состояний с использованием высокочастотного емкостного напряжения [2,12]. Для конструкции, подверженных давлению, было показано, что при энергиях, превышающих $E_C - 0.35$ эВ, интегральная плотность поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника уменьшается по сравнению с контрольными конструкциями (см. рис. 2).

Вывод: На основании приведенных результатов можно сделать вывод, что барическая обработка конструкции Al-n-Si(Ni)-SiO₂-Al при помощи всестороннего сжатия до давлений в 8 кБар в течении $15 \div 20$ минут, приводит к перестройке конструкции переходного поверхности кремний - кремний оксид, следствием которой оказывается уменьшением интегральной плотности электрических активных поверхностных состояний, с тем указанная величина давления не оказывает заметного последствие на параметры объемных генерационных центров.

Литература

1. Примаченко В.Е., Кириллова С.И., Чернобай В.А., Венгер Э.Ф. Электронные состояния на Si-SiO₂ граница (обзор). // Физика полупроводников, Квантовая электроника и оптоэлектроника, 8 (4), п. 38-54. 2005.
2. Меньшикова Т.Г., Борمونтов А.Е., Гянджа В.В. Влияние встроенных колебаний заряда на электрофизические характеристики МДП-конструкцию // Вестник ВГУ, Сер. Физика, Математика. № 1, -С. 75- 79. 2005.
3. Озаренко А.В., Брусенцов Ю.А., Королев А.П. Особенности тензорезистивного эффекта в конструкции металл-диэлектрик-полупроводник в условиях статического и неоднородная деформация. // Вестник ТГТУ, 14 (1), п. 158-163, 2008.
4. Климчицкая Г.Л., Федорцов А.Б., Чуркин Ю.В., Юрова В.А. Казимир Форс давление на изолирующий слой в структурах металл-изолятор-полупроводник. // Физика твердого тела State, 53 (9), p. 1921-1926, 2011.
5. Неизвестный И.Г., Гридчин А.А., Применение напряженный кремний в МОП-транзисторах и КМОП структуры. // Российская микроэлектроника, 38 (2), -С. 71- 86. 2009.
6. Власов С.И., Маматкаримов А.А., Овсянников А.В., Сапаров Ф.А. Влияние давления на создание микропространственных включений на поверхностях металл-полупроводниковых структур, в 9-м совместном Узбекско-Корейский симпозиум. Нанонаука: проблемы и перспективы. Квантовые функциональные материалы и Приборы. Рефераты. -С. 29, 2010.
7. Cheng-Yi Peng, Ying-Jhe Yang, Yen-Chun Fu, Ching-Fang Huang, Shu Tong Chang, Chee Wee Liu, Effects of applied mechanical uniaxial and biaxial tensile strain on the flat band voltage of (001), (110), and (111) metal-oxide-silicon capacitors // IEEE Trans. Electron Dev. 56(8), p. 1736-1745, 2009.
8. Зайнабидинов С.З., Власов С.И., Каримов И.Н. Влияние никеля и γ-облучения на плотность поверхностные состояния. // Физ. Техн. Poluprov. 20 (7), п. 1348. 1986.
9. Гайворонский А.Т., Яковлев Ю.И., Береснев Б.И., Булычев Д.К., Гидростат Л.Г. // Приборы и Техника Эксперимента, № 5, -С. 232, 1981.
10. Берман Л.С., Власов С.И., Морозы В.Ф. Идентификация остаточных глубоких примесей в полупроводниковые приборы, использующие переходные процессы спектроскопия // Известия АН СССР. Многосерийный телефильм физика, 42 (6), -С. 1175-1178, 1978.

РЕЗЮМЕ

Бу мақолада уч қаватли конструкцияли Al-n-Si <Ni> -SiO₂ -Al га гидростатик босимнинг таъсир этишидаги релаксацион хараakterистикаси ўрганилди. 15÷20 дақиқа давомида 8 кбар босим берилишида юза ҳолатининг интеграл зичлиги камайишига олиб келиб, бу марказий ҳажм генерациясига таъсир қилмайдиган.

РЕЗЮМЕ

В статье было исследовано (ВГД) на релаксационные характеристики трёхслойных конструкция Al-n-Si <Ni> -SiO₂ -Al. Было установлено, что 15÷20 мин воздействие давления 8 кбар приводит к снижению интегральной плотности поверхностных состояний, не оказывая влияния на центры генерации в объёме.

SUMMARY

The article investigated the effect of hydrostatic pressure on the relaxation characteristics of three-layer structures Al-n-Si<Ni> -SiO₂-Al. It was found that, for 15÷20 min, a pressure of 8 kbar leads to a decrease in the integral density of the state surface without affecting the generation centers in the volume.

СТАТИСТИКА РЕКОМБИНАЦИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ПАРНЫМИ РЕКОМБИНАЦИОННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ, АКТИВНОСТЬ КОТОРЫХ СНИЖАЕТСЯ В ПРОЦЕССЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ

А.Ю.Лейдерман – доктор физико-математических наук, профессор

У.Х.Рахмонов – младший научный сотрудник

Физико-технический институт НПО «Физика–Солнце» АН РУз.

А.К.Утениязов – доктор философии по физико-математическим наукам, доцент

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

М.К.Уктамова – докторант

НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники НУУз.

М.Т.Нсанбаев – ассистент преподаватель

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: рекомбинация, донор-акцептор жуфтлари, рекомбинацион активликнинг пасайиши.

Ключевые слова: рекомбинация, донорно-акцепторные пары, снижение рекомбинационной активности.

Key words: recombination, donor-acceptor pairs, decrease in recombination activity.

Ещё в 50-ые годы прошлого века У.Шокли и У.Рид разработали статистику рекомбинации неравновесных носителей, которая давно уже стала классической. Эта статистика рассматривает модель полупроводника, в котором процесс рекомбинации идёт через простые глубокие примесные центры, каждый из которых может быть либо однозарядным, либо нейтральным. Модель такого полупроводника с одноуровневой глубокой примесью показана на рис. 1.а.

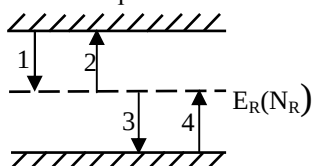


Рис. 1а. Схема рекомбинации через простую одноуровневую ловушку Шокли – Рида.

1 – $c_n N_R (1 - f_R) n$; 2 – $c_n N_R f_R n_1$ обмен уровня ловушки с зоной проводимости,
3 – $c_p N_R f_R p$, 4 – $c_p N_R (1 - f_R) p$ - обмен уровня ловушки с валентной зоной.

При разработке этой статистики авторами были сделаны ряд упрощающих предположений, одним из которых было то, что время закрепления захваченного носителя на примеси незначительно по сравнению со временем, требуемым ловушке, чтобы захватить (или испустить) электрон или дырку. То есть, процесс захвата свободного носителя (электрона или дырки) на примесный центр предполагался без инерционным. Опираясь на эти представления, У. Шокли и У. Рид получили общеизвестное выражение для скорости рекомбинации неравновесных носителей:

$$U = N_R \frac{c_n c_p (pn - n_i^2)}{c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1)}. \quad (1)$$

Здесь N_R - концентрация рекомбинационных примесных центров, которая предполагается постоянной; c_n , c_p – коэффициенты захвата электронов и дырок на примесный уровень E_R , n_i – собственная концентрация, n_1 и p_1 – статистические факторы Шокли-Рида,