

УДК 621.382.2

ВЛИЯНИЕ БАРИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА СВОЙСТВА СТРУКТУР Al - SiO₂ - n-Si<Ni>

К.А.Исмаилов – доктор физико - математических наук, профессор

Б.К.Исмаилов – ассистент преподаватель

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

М.А.Жалелов – кандидат физико - математических наук

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: кремний, никел, микроэлектроника, релаксация, диод, фотоўтказгич, деффектли структура.

Ключевые слова: кремний, никель, микроэлектроника, релаксация, диод, фотопроводимость, дефектные структуры.

Key words: silicon, nickel, microelectronics, relaxation, diode, photoconductivity, imperfect structures.

Основу современной микроэлектроники составляют многослойные полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы. Составной частью всех полупроводниковых приборов является комбинация чередующихся слоёв полупроводник - диэлектрик. В таких приборах как полевые транзисторы, поверхностно барьерные варикапы, элементы памяти, приборы с зарядовой связью контакт полупроводник - диэлектрик является основной рабочей областью. В настоящее время структуры типа металл-окисел-полупроводник (МОП) на основе кремния широко используются в изготовлении полупроводниковых приборов и микроэлектронных интегральных схем. При этом следует особо отметить, что раздел полупроводник - окисел может оказывать существенное влияние на параметры полупроводниковых приборов и структурных элементов [1:256, 2:224]. Авторами работ [3, 4, 5, 6, 7] были исследованы влияние на параметры границ раздела таких воздействий как термическая, так и радиационная. Кроме этого отметим, что результаты по влиянию барических воздействий противоречивы и не достаточны с точки зрения физики [8, 9, 10, 11]. Так, в [8:166] наблюдаемые при воздействии давления, изменения релаксационных характеристик связывается с образованием дефектных центров в слоях диэлектрика, а в [9:88] аналогичные изменения объясняются образованием структурных дефектов в полупроводнике.

В данной научной статье исследовано влияние всестороннего гидростатического сжатия на плотность электронных состояний, локализованных на межфазной границе раздела Si-SiO₂.

Исследуемые структуры изготавливались на основе кристаллического кремния типа КЭФ - 5 с кристаллографической ориентацией (100), как наиболее часто используемого в микроэлектронике. Легирование кремния Ni, было выполнено диффузионным способом, по методике описанной в работе [12:83]. Выбор примеси Ni обусловлен его влиянием на распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещённой зоны кремния [13:363]. Слой SiO₂ (толщиной 2000-3000Å) выращивался при помощи термического окисления пластин кремния (T=900 °C, t=40 минут) в хлоросодержащей среде. Структуры МОП изготавливались при помощи вакуумного осаждения алюминия на поверхность диоксида кремния. Диаметр управляющих электродов - 3 мм. Изготовленные структуры подвергались всестороннему сжатию до давлений 2-8 кБар (шаг - 2 кБар с выдержкой в каждом интервале по 20 минут) на установке «Гидростат» ЛГ-16 [14:112].

Для идентификации энергетических уровней никеля в кремнии использовалась методика идентификации, описанная в [15:1348], для чего изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si<Ni>, путём химического удаления слоя SiO₂ и вакуумного осаждения Au.

Запишем условие электронейтральности структуры МДП:

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

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

Продифференцировав правую и левую часть уравнения (1) 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

$\left(\frac{dQ_{cs}}{dt} = 0 \right)$, 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 объёме полупроводника, а изменение заряда поверхностных со-

стояний $\frac{dQ_{ss}}{dt} = Sqk$, где S - скорость поверх-

ностной генерации носителей заряда. С учётом 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 её 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 расчётную временную зависимость ширины ОПЗ можно использовать для определения величин скорости поверхностной и объёмной генерации носителей заряда при сравнении её с экспериментальной зависимостью. Используя общепринятую модель структуры МДП, можно показать, что временная зависимость измеряемой ёмкости (без учёта влияния формирующегося заряда инверсионного слоя) имеет следующий вид:

$$C(t) = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 K C_D}{K + x(t) C_D} \quad (8)$$

здесь: K - площадь управляющего электрода, C_D - ёмкость слоя диэлектрика, ε - диэлектрическая проницаемость полупроводника, ε_0 - электрическая постоянная.

Величина C_D - определяется по высокочастотной вольтфарадной характеристике, величину $C(t)$ можно найти для каждого момента времени t из экспериментальной релаксационной характеристики структуры МДП.

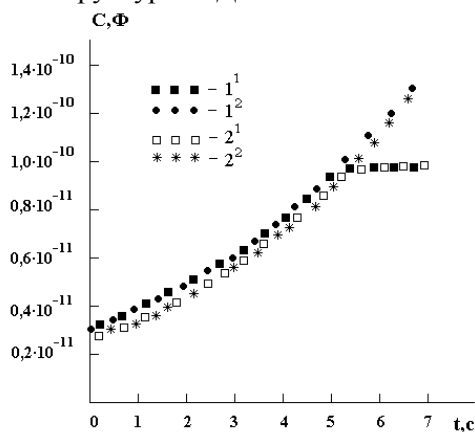


Рис.1. Экспериментальные ($1^1, 2^1$) и теоретические ($1^2, 2^2$) зависимости релаксации ёмкости исследуемых структур (1^1 и 1^2 - контрольные, $2^1, 2^2$ - подвергнутые давлению).

На рисунке 1 приведены экспериментальная (1^1), измеренная на частоте 250 кГц, при температуре $-15^\circ C$ и теоретическая (1^2) зависимости

Литература

1. Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. - Москва: Энергоатомиздат, 1988. - С. 256.
2. Чистов Ю.С., Сыдоров В.Ф. Физика МДП-структур. - Воронеж: Издательство ВГУ, 1989. - С. 224.
3. Барaban А.П., Булавинов В.В., Конов П.П. Электроника слоев SiO_2 на кремнии. - Ленинград: ЛГУ. 1988, -С. 302.
4. Меньшикова Т.Г. и др. Влияние ионизирующего излучения на планарно-неоднородные МДП структуры. Электроника и информатика. Материалы международной научно-технической конференции. -Москва: 2005. ч.1, -С.139.

$C(t)$ для одного из контрольных образцов Al-n-Si<Ni>- SiO_2 -Al, полученные после переключения напряжения $U_1 \rightarrow U_2$ ($U_1=7$ В, $U_2=14$ В). Величины скорости объёмной (A) и поверхностной (S) генерации найдены при помощи соотношений (7, 8) методом оптимального подбора: $A = 9 \cdot 10^{13} c^{-1} \cdot cm^{-3}$, $S = 4 \cdot 10^9 c^{-1} \cdot cm^{-2}$. При указанных значениях A и S , расчётная зависимость релаксации ёмкости хорошо совпадает с экспериментальной зависимостью. Отклонение расчётной зависимости от экспериментальной, в конце процесса релаксации, обусловлено влиянием растущего слоя инверсионного заряда и увеличением вероятности обратного захвата генерированных носителей заряда. Зависимости (2^1) и (2^2), измеренные при аналогичных условиях, соответствуют образцу, подвергнутому всестороннему гидростатическому сжатию до давлений 8 кБар. Из приведенных зависимостей видно, что расчётная (2^2) и экспериментальная (2^1) зависимости хорошо совпадают при значениях $A = (8-9) \cdot 10^{13} c^{-1} \cdot cm^{-3}$, $S = (1-2) \cdot 10^9 c^{-1} \cdot cm^{-2}$. На наш взгляд это указывает на то, что при указанных величинах давления, концентрация и энергетическое распределение примесных центров обусловленных Ni, практически не изменяется, а уменьшение скорости поверхностной генерации обусловлено изменением плотности поверхностных состояний. Для подтверждения этого предположения со структур, подвергнутых воздействию давления, химическим способом (обработка в парах плавиковой кислоты) удалялся слой SiO_2 и при помощи вакуумного осаждения Au (без подогрева подложки) изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si<Ni>. Далее, при помощи метода изотермической релаксации ёмкости [14:112], идентифицировалась примесь Ni и определялась её концентрация. Таким образом, анализ полученных результатов показал следующее. Во всех диодах Шоттки, как в контрольных, так и в изготовленных на пластинах подвергавшихся давлению, энергетическое положение примеси никеля ($E_c - 0,4 \pm 0,03$ эВ и $E_v + 0,2 \pm 0,03$ эВ) и её концентрация ($n = (3-5) \cdot 10^{12} cm^{-3}$) практически не изменялись (разброс этих значений для различных диодов составлял 5-7%), что лежит в пределах ошибки эксперимента.

На основании приведённых результатов можно сделать, что барическая обработка структур Al-n-Si<Ni>- SiO_2 -Al при помощи всестороннего сжатия, приводит к перестройке структуры переходного слоя Si-SiO₂, следствием которой является уменьшение интегральной плотности электрических активных поверхностных состояний. При этом указанная величина давления не оказывает заметного влияния на свойства объёмных генерационных центров.

5. Левин М.Р., Татаринцев А.В., Иванков Ю.В. Моделирование воздействия ионизирующих излучений на МДП структуру. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2002, т. 4, № 3, -С.195-202.
6. Меньшикова Т.Г., Бормонтов А.Е., Ганжа В.В. Влияние флуктуаций встроенного заряда на электрофизические характеристики МДП структур. // Вестник ВГУ, Серия: Физика. Математика, 2005, № 1.
7. Дмитриев С.Г., Маркин Ю.В. Проявление процесса деактивации подвижного заряда в SiO₂ при спектроскопии границы раздела кремний-окисел. // ФТП, 1998. т. 32, в. 12. -С. 37-44.
8. Vlasov S.I., Ovsyannikov A.V., Ismailov B.K., Kuchkarov B.H. Effect of pressure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures.- Semiconductor Physics, Quantum electronics and Optoelectronics. 2012. v. 5. № 2. p.166-169.
9. Власов С.И., Исмаилов Б.К., Кучкаров Б.Х. Влияние температуры оплавления стекла на параметры границы раздела Si-стекло. Материалы международной научно-технической конференции. Фундаментальные и прикладные проблемы физики. Часть 1. –Саранск: 28-30 мая 2012, -С.88-90.
10. Власов С.И., Овсянников А.В., Исмаилов Б.К., Кучкаров Б.Х. Влияние ультразвуковой обработки на скорость формирования заряда инверсионного слоя в структурах металл-стекло-полупроводник. Материалы международной научно-практической конференции Структурная релаксация в твердых телах. –Винница: 29-31 мая. 2012, -С. 234-236.
11. Власов С.И., Кучкаров Б.Х., Исмаилов Б.К. Влияние ультразвукового воздействия на свойства структур металл-стекло-полупроводник. // Вестник НУУз. 2013, № 2. -С.16-18 .
12. Власов С.И., Эргашева М.А., Адылов Т.П. Влияние давления на свойства границы раздела Si - стекло. // Письма в ЖТФ. 2005, т. 31, в. 10, -С. 83-87.
13. Vlasov S.I., Saparov F.A., Ismailov K.A. "Effect of pressure on the characteristics of Schottky barrier diodes made of overcompensated semiconductor. -Semiconductor Physics, Quantum electronics and Optoelectronics. 2010, v. 13. № 4. p. 363-365.
14. Зайнабидинов С.З., Власов С.И., Насиров А.А. Неравновесные процессы на границе раздела полупроводник-диэлектрик. –Ташкент: Университет. 1995. –С 112.
15. Зайнабидинов С.З., Власов С.И., Каримов И.Н. Влияние никеля и - Г облучения на плотность поверхностных состояний. // ФТП, 1986. т. 20, в.7, -С.1348.

РЕЗЮМЕ

Мақолада Si-SiO₂ фазолараро чегарада локализация килинган электрон ҳаллар зичлигига гидростатик сиқилишларнинг ҳар томонлама таъсири ўрганилган.

РЕЗЮМЕ

В статье исследуется влияние всестороннего гидростатического сжатия на плотность электронных состояний, локализованных на межфазной границе раздела Si-SiO₂.

SUMMARY

The article is devoted to the study of influences of comprehensive hydrostatical compression on the closeness of the electronic state, non communicative on the interphase border of section of Si-SiO₂.

UZLUKSIZ MAKROSKOPIK TIZIMLARGA OID FIZIKA MASALALARINI YECHISH II. JISMLARNING INERTSIYA MOMENTLARINI HISOBLASH

B.Yavidov – *fizika-matematika fanlari doktori*

A.Abdujamilov, O.Jumoboyeva va F.Safarboyeva – *fizika va astronomiya o'qitish metodikasi ta'lim yonalishi 4-bosqich studentlari*
Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti

Tayanch so'zlar: jism, inertsia momenti, Shteyner teoremasi, jismlar inertsiasini momentini topishga oid masalalar yechish.

Ключевые слова: тело, момент инерции, теорема Штейнера, решение задач по нахождению момента инерции тел.

Key words: body, moment of inertia, Steiner theoreme, solving tasks on finding of moment of bodies? inertia.

Umumiy fizika kursining mexanika bo'limiga oid mavzularni o'zlashtirishda ma'ruza mashg'ulotlarida olingan bilimlarni amaliy mashg'ulotlarda masalalar yechish orqali mustahkamlash o'ta muhim. Amaliy mashg'ulotning ham asl maqsadi mavzularga oid, real hayotga aloqador vaziyatni aks ettiruvchi, masalalar yechish orqali studentlarda masala yechish ko'nikmalarini shakllantirish va rivojlantirishdan iborat. Amaliy mashg'ulot o'qish jarayoni mashg'ulotlarining boshqa turlari (ma'ruza, seminar, tajriba va b.) kabi aniq maqsadni ko'zlab, bu maqsadga erishish uchun esa an'anaviy hamda noan'anaviy o'qitish usullaridan unumli foydalanib, ularni axborot-texnologiya elementlari bilan uyg'unlashtirgan holda qo'llab o'tishni taqozo etadi. Bunda maqsadga erishish uchun qadamma-qadam va bosqichma-bosqich harakatlar sodir etilishi yani masala yechish taktikasiga amal qilinishi darkor. Albatta, bunda masalada berilgan shartlar, fizikaviy tizimning diskret yoki uzluksiz ekanligi, uning fazoviy o'lchami kabi omillar masala yechilishini soddalashtirishi yoki murakkablashtirishi mumkin. Yuqoridagi ta'kidlar umumiy fizika kursining mexanika bo'limiga oid aylanma harakat dinamikasi mavzusi bo'yicha masalalar yechishga ham taalluqli. Xususan, jismlarning inersiya momentlarini hisoblashda, jismlar tizimining diskret yoki uzluksizligiga qarab masala yechish metodikasi turlichi bo'lishi mumkin. Fizikaviy tizimning inersiya momenti ta'rifga ko'ra

$$\text{Diskret tizimlarda [1:110]} \quad I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (1)$$

$$\text{Uzluksiz tizimlarda [1:114]} \quad I = \int_{\Omega} r^2 dm \quad (2)$$