

Исследование ионно-имплантированных фоточувствительных кремниевых структур методом электрохимического вольт-фарадного профилирования

© Г.Е. Яковлев*, Д.С. Фролов*, А.В. Зубкова*, Е.Е. Левина⁺, В.И. Зубков*, А.В. Соломонов*, О.К. Стерлядкин⁺, С.А. Сорокин⁺

* Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“, 197376 Санкт-Петербург, Россия

⁺ ОАО Центральный научно-исследовательский институт „Электрон“, 194223 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: geyakovlev@etu.ru

(Получена 24 июня 2015 г. Принята к печати 8 июля 2015 г.)

Методом электрохимического вольт-фарадного профилирования исследованы имплантированные бором кремниевые структуры для ПЗС-матриц с обратной засветкой. Исследовалась серия специально подготовленных структур с различными энергией и дозой имплантации, а также с покровными слоями из алюминия, оксида кремния и их комбинации. Экспериментально получены профили распределения основных носителей заряда по глубине исследуемых структур. Также с использованием уравнения Пуассона и уравнения Фредгольма первого рода проведен расчет распределения концентрации носителей заряда и напряженности электрического поля в структурах. На основе анализа и сопоставления теоретических и экспериментальных концентрационных профилей предложены рекомендации по оптимизации параметров структур для увеличения значения тянущего поля и уменьшения влияния поверхностного потенциала на транспорт носителей заряда.

1. Введение

В конструкции фотонно-чувствительных (ФЧ) и электронно-чувствительных (ЭЧ) приборов с переносом заряда (ППЗ) применяются утонченные с обратной стороны ППЗ матрицы, в которых полностью удаляется сильно легированная подложка до эпитаксиального слоя [1–3]. В эпитаксиальном слое путем ионного легирования создается сильно легированная p^+ -область, что позволяет не только компенсировать образовавшийся в результате обработки поверхности потенциал, но и сформировать тянущее поле, которое создает ток образованных электронной бомбардировкой неосновных носителей заряда в направлении к области накопления и считывания заряда [4].

Для создания сильно легированной области используется ионная имплантация с последующим отжигом. При отработке технологических процессов имплантации важной задачей является исследование полученных профилей распределения концентрации основных носителей заряда (ОНЗ). Среди методов, позволяющих решить данную задачу, метод электрохимического вольт-фарадного профилирования (ECV) выделяется широким диапазоном измерения концентрации носителей заряда (от 10^{14} до 10^{20} см⁻³) на глубинах от единиц нм до десятков мкм [5–7]. Отличительной чертой метода является отсутствие необходимости нанесения контактов на образец. Этот метод эффективно применяется для исследования различных полупроводниковых и, в частности, кремниевых структур [8–10].

Целью данной работы было проведение электрохимических вольт-фарадных измерений кремниевых по-

лупроводниковых структур, имплантированных бором, моделирование распределения концентрации основных носителей заряда и распределения напряженности электрического поля по глубине, а также выработка рекомендаций по оптимизации параметров ионной имплантации в кремниевых структурах для увеличения чувствительности приборов с переносом заряда.

2. Образцы и техника эксперимента

Экспериментальные образцы представляли собой структуры со слабо легированными эпитаксиальными слоями кремния с удельным сопротивлением 12 Ом·см и толщиной 20 мкм, выращенные на кремниевой подложке с ориентацией (100). В эпитаксиальный слой осуществлялась ионная имплантация бора, в том числе через различные покровные слои. После имплантации проводился низкотемпературный термоактивационный отжиг (450°C) в атмосфере водорода в течение 60 мин. Описание исследуемых образцов представлено в табл. 1.

Электрохимические вольт-фарадные измерения проводились на установке ECV Pro компании Nanometrics. В качестве электролита для исследования данных структур ECV-методом был выбран водный раствор бифторида аммония (NH₄HF₂) с концентрацией 0.2 моль/дм³ с добавлением изопропилового спирта в размере 20% от объема раствора. Выбранный электролит обладает малым последовательным сопротивлением и обеспечивает оптимальные параметры процесса травления.

Площадь электролитического контакта составляла 0.1 см². Напряжение травления подбиралось исходя из

Таблица 1. Описание исследуемых образцов Si, имплантированных бором

Номер образца	Энергия ионов, кэВ	Доза, 10^{14} см^{-2}	Покровной слой	Толщина покровного слоя, нм
1	13	2	—	—
2	13	5	—	—
3	13	8	—	—
4	10	2	Al	45
5	15	2	Al	45
6	20	2	SiO _x	60
7	20	2	Al + SiO _x	45 + 60
8	30	2	Al + SiO _x	45 + 60
9	40	2	Al + SiO _x	45 + 60

оптимальной плотности тока травления в $1\text{--}2 \text{ мА/см}^2$ и изменялось от $+2$ до -0.4 В по мере уменьшения регистрируемой концентрации носителей заряда. Напряжение смещения V в ECV-измерениях выбиралось на линейном участке вольт-фарадной характеристики в координатах Мотта–Шоттки ($1/C^2$ от V) и для исследуемых структур составляло -1 В . Следует заметить, что смещения в данной работе указаны относительно платинового электрода и использование электролита другой концентрации приведет к изменению оптимальных параметров измерений. Частота зондирующего сигнала, используемого для измерения емкости C , менялась в процессе травления от 0.1 до 5 кГц для уменьшения влияния большой поверхностной проводимости. Травление производилось с шагом 5 нм .

При измерениях структур методом электрохимического вольт-фарадного профилирования важно контролировать шероховатость поверхности дна кратера травления. Большое значение шероховатости увеличивает площадь границы раздела полупроводник/электролит, внося тем самым дополнительные ошибки в измерения концентрации основных носителей заряда. Для контроля глубины травления, качества поверхности и верификации толщины покровных слоев использовался атомно-силовой микроскоп (АСМ) Solver NEXT. На рис. 1 представлена измеренная с помощью АСМ морфология кратера травления

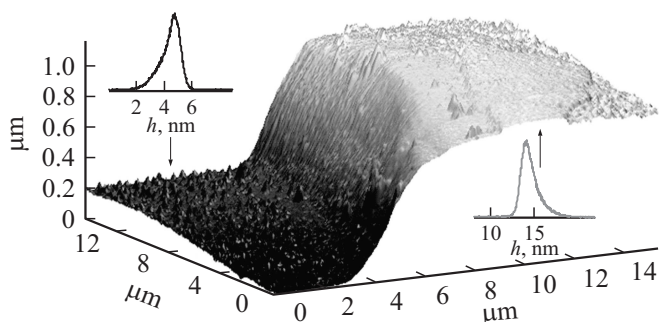


Рис. 1. Трехмерное АСМ-изображение кратера травления образца 6 и гистограммы распределения высот шероховатостей вне и внутри ямки травления.

образца 6. Как видно, глубина кратера травления по данным АСМ-измерений составила $\sim 0.95 \text{ мкм}$, что хорошо согласуется с данными, полученными в результате ECV-измерений (1.0 мкм). Расхождение может быть связано с тем, что область АСМ-измерения составляла $20 \times 20 \text{ мкм}$, при площади основания кратера травления в 0.1 см^2 . Можно заметить, что полученный ECV-кратер травления имеет достаточно резкую границу. Также из приведенных на рис. 1 гистограмм распределения высот h внутри и вне кратера видно, что средняя величина шероховатости на дне кратера (5 нм) меньше, чем на исходной поверхности (15 нм). Это говорит о высоком качестве травления и подтверждает правильный выбор электролита для проведения исследования данных образцов.

3. Экспериментальные данные и обсуждение

Характерной особенностью рассматриваемых структур с ионной имплантацией является высокая концентрация примеси в приповерхностной области и резкое изменение профиля распределения ионов, что приводит к необходимости учитывать поверхностную проводимость и резкое изменение емкости перехода.

3.1. Имплантация в структуры без покровных слоев

Результаты измерения образцов 1–3 без покровных слоев, отличающихся друг от друга дозой имплантации, представлены на рис. 2. Профили распределения основных носителей заряда по глубине x имеют характерный для имплантации вид. С увеличением дозы имплантации растет пиковое значение концентрации, а сам максимум сдвигается вглубь. Концентрационные профили образцов 1–3 имеют амплитуды $6.5 \cdot 10^{19}$, $6.7 \cdot 10^{19}$ и $9.5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно, с максимумом, расположенным на расстояниях 18 , 21 и 29 нм от поверхности. Асимметричность профиля вблизи максимума и его сдвиг объясняются процессами диффузии

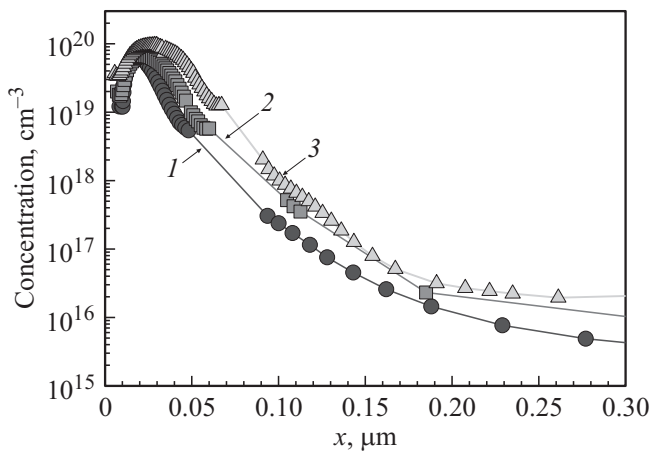


Рис. 2. Профили распределения концентрации основных носителей заряда в образцах без покровных слоев с различной дозой имплантации, 10^{14} ион/см²: 1 — 2, 2 — 5, 3 — 8. Нумерация кривых соответствует номерам образцов в табл. 1.

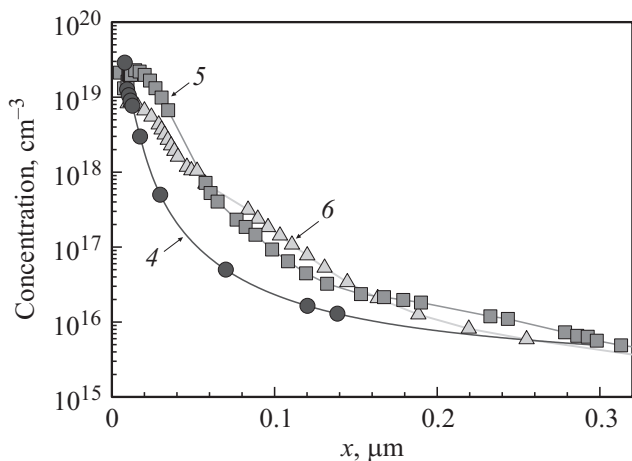


Рис. 3. Профили распределения концентрации основных носителей заряда в образцах с различными покровными слоями и энергиями имплантации: 4 — Al (45 нм), 10 кэВ; 5 — Al (45 нм), 15 кэВ; 6 — SiO_x (60 нм), 20 кэВ. Нумерация кривых соответствует номерам образцов в табл. 1.

примеси. Ширина профиля на полувысоте для образцов 1–3 равна 18, 27 и 37 нм соответственно. Заметим, что приведенные профили концентрации ОНЗ размыты в сравнении с профилями имплантированной примеси на величину дебаевской длины экранирования, которая определяется силой обменного взаимодействия примеси и свободных носителей заряда,

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 kT}{q^2 N}}. \quad (1)$$

При этом дебаевская длина экранирования L_D сама зависит от концентрации.

3.2. Имплантация через одиночный покровный слой

Результаты исследования образцов с покровными слоями из алюминия (образцы 4, 5) и оксида кремния (образец 6) при различной энергии имплантируемых ионов приведены на рис. 3. Видно, что при уменьшении энергии имплантации (образцы 4, 5) и одинаковых параметрах покровного слоя концентрационный профиль сдвигается к поверхности. Концентрационные профили в образцах 4–6 имеют амплитуду $2.9 \cdot 10^{19}$, $2.3 \cdot 10^{19}$ и $8.6 \cdot 10^{18}$ см⁻³ соответственно. Концентрационное распределение в данных образцах имеет меньшую амплитуду, чем в образцах 1–3 без покровных слоев, что ожидаемо, так как образцы 4–6 получены с меньшей дозой имплантации. Максимум концентрационного профиля образцов 4–6 располагается на расстоянии 8, 14 и 12 нм от поверхности. Ширина профиля на полувысоте для образцов 5 и 6 равна 28 и 32 нм соответственно.

3.3. Имплантация через комбинацию покровных слоев

Образцы 7–9 (с покровными слоями из Al и SiO_x) отличались друг от друга различными энергиями имплантируемых ионов. Полученные концентрационные профили представлены на рис. 4. Комбинация двух покровных слоев (образец 8) при энергии ионов 20 кэВ задерживает ионы бора полностью, первая точка ECV-измерений этого образца располагается на глубине порядка ~ 1 мкм, что связано с большой шириной области объемного заряда при данной концентрации. Для эффективного легирования такой структуры необходима энергия ионов не менее 30 кэВ. Максимумы концентрационных профилей образцов 8 и 9 расположены на расстоянии 11 и

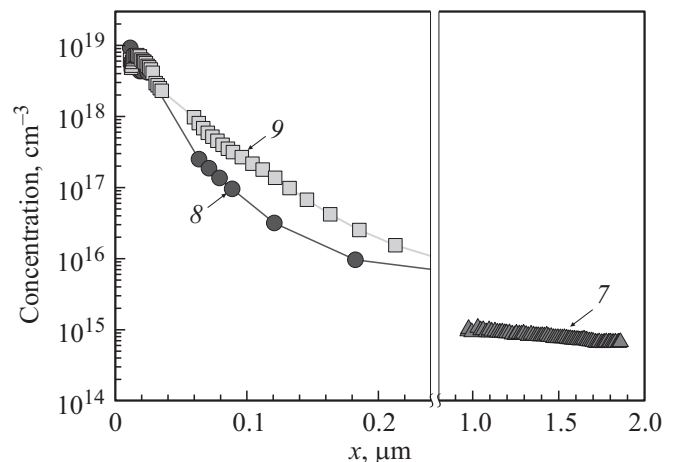


Рис. 4. Профили распределения концентрации основных носителей заряда в образцах 7–9 с комбинацией покровных слоев Al (45 нм)+SiO_x (60 нм) при различной энергии имплантации, кэВ: 7 — 20, 8 — 30, 9 — 40. Нумерация кривых соответствует номерам образцов в табл. 1.

18 нм от поверхности. Ширина профиля на полувысоте для этих образцов равна 46 и 32 нм соответственно, что больше по сравнению с остальными исследуемыми в данной работе образцами. Это объясняется большей энергией имплантируемых ионов.

4. Анализ результатов

4.1. Моделирование распределения напряженности электрического поля

Предметом исследования в настоящей работе являются структуры, полученные при различных энергиях и дозах ионов, имплантируемых как напрямую в эпитаксиальный кремний, так и через различные покровные слои. Использование покровного слоя позволяет сдвинуть концентрационный профиль ОНЗ ближе к поверхности. При этом важно контролировать максимум градиента распределения концентрации носителей заряда, который определяет положение максимума напряженности электрического поля [11].

Толщина и материал покровного слоя, как правило, являются фиксированными для конкретного класса приборов фотоники. Так, например, для видимо-слепых приборов слой алюминия является фильтром, отсекающим нежелательную часть спектра. Поскольку материал фотокатода в ЭЧ ППЗ обычно прозрачен для фотонов видимой части спектра, использование покровного слоя алюминия позволяет избежать засветки детектора видимым излучением. Детектирование происходит только от фотогенерированных электронов, ускоренных за счет прикладываемого ускоряющего напряжения к прибору достаточно для преодоления покровного слоя.

Основным фактором, определяющим чувствительность фотоприемного элемента, является эффективность сбора носителей заряда [12]. Необходимость преодолевать покровный слой снижает эту эффективность, поскольку необходимо прикладывать ускоряющее напряжение, достаточное для того, чтобы электрон мог преодолеть покровный слой и прийти до полупроводника. Однако даже этого оказывается мало. Для большего увеличения эффективности сбора носителей заряда необходимо, чтобы электрон попал в область тянущего электрического поля, а значит, чтобы он смог оказаться за максимумом напряженности электрического поля полупроводника, который определяется имплантационным профилем. Это ведет к увеличению рабочего ускоряющего напряжения. Однако при имплантации через покровный слой профиль легирования сдвигается к поверхности, соответственно сдвигается и максимум напряженности электрического поля.

Таким образом, варьируя энергию ионов и дозу имплантации, можно добиться ситуации, при которой максимум напряженности электрического поля располагался наиболее близко к поверхности полупроводника. Тогда необходимо прикладывать лишь достаточное для

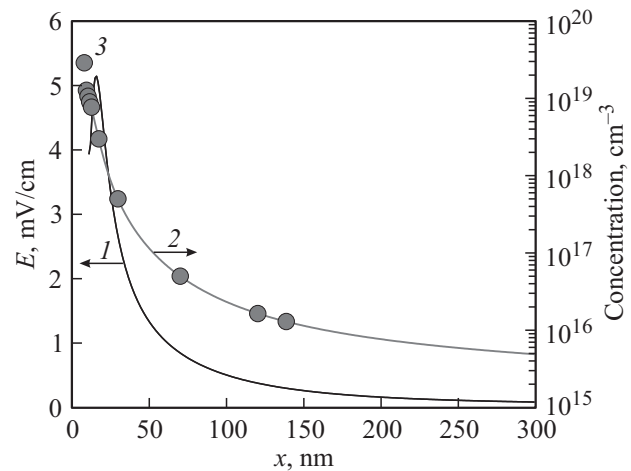


Рис. 5. Распределение напряженности электрического поля (1) и концентрации ОНЗ (2) по глубине образца 4 с покровным слоем из алюминия. Экспериментальные данные нанесены точками (3).

преодоления покровного слоя значение напряжения. Такие условия способствуют созданию тянущего поля без образования так называемого „мертвого слоя“ [13–15], под которым понимается суммарная толщина области, в которой значение эффективности сбора заряда мало. Эта область ограничена с одной стороны поверхностью покровного слоя, а с другой — координатой максимума напряженности электрического поля.

Из уравнения Пуассона

$$\frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon \epsilon_0} \quad (2)$$

в предположении единственной донорной примеси путем несложных преобразований можно получить аналитическое выражение для распределения напряженности электрического поля:

$$E(x) = \frac{kT}{q} \frac{1}{n(x)} \frac{\partial n(x)}{\partial x}, \quad (3)$$

где $n(x)$ — распределение концентрации основных носителей заряда по глубине x , q — заряд электрона, T — температура, k — постоянная Больцмана. Данное выражение использовалось нами для получения распределения напряженности электрического поля $E(x)$ в исследуемых структурах.

На рис. 5 приведено рассчитанное из экспериментального профиля концентрации ОНЗ распределение напряженности электрического поля по глубине образца 4. Максимум напряженности электрического поля в данном случае имеет значение $5.1 \cdot 10^4$ В/см. Данный образец имеет наибольшую амплитуду напряженности электрического поля. Ее максимум сдвинут к поверхности покровным слоем и располагается на глубине $x_{\text{max}} = 16$ нм.

Таблица 2. Рассчитанные значения и положения максимумов напряженности электрического поля в исследуемых образцах

Номер образца	x_{\max} , нм	E , мВ/нм
1	31	2.7
2	44	2.5
3	67	1.8
4	16	5.1
5	38	2.7
6	36	2.2
7	—	—
8	29	1.9
9	34	1.3

Значение и положение максимума напряженности электрического поля для остальных исследуемых в работе образцов представлены в табл. 2. По опыту проведенных измерений набора структур, значительная часть из которых не представлена в данной работе, для получения высоких значений напряженности тянущего электрического поля поверхностная концентрация основных носителей заряда должна быть не менее 10^{19} см^{-3} .

4.2. Моделирование процесса имплантации

В настоящей работе приведены экспериментальные концентрационные профили ионно-имплантированных структур, полученные на установке электрохимического вольт-фарадного профилирования. Полезно сравнить эти результаты с результатами расчета по программе TRIM, часто используемой при оценке имплантационных профилей. Существует ряд работ, в которых экспериментальные измерения полученной концентрации проводятся при помощи классического вольт-фарадного метода ($C-V$ -метода), широко используемого при исследовании полупроводниковых структур. Однако полученные $C-V$ -методом концентрационные профили ограничиваются глубиной проникновения области объемного заряда в полупроводник — эта глубина лимитируется величиной ~ 100 нм при концентрации $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а в случае рассматриваемых больших концентраций — величиной ~ 25 нм [16,17]. Метод же ECV, используя контролируемое травление образца, позволяет получать информацию обо всем интересующем профиле концентрации, даже в столь сильно легированных образцах.

Результатом вычисления с использованием программы TRIM является профиль примеси, поэтому после проведения расчета необходимо было далее осуществить пересчет профиля примеси в профиль распределения основных носителей заряда, поскольку именно он измеряется в эксперименте. Предполагалось, что вся примесь ионизована, что справедливо для кремния при комнатной температуре. Однако профиль распределения

ОНЗ не совпадает с профилем примеси вследствие дебаевского размытия.

Обычный математический прием для учета подобного уширения спектра заключается в операции свертки с известной функцией уширения. Однако в рассматриваемом случае вид функции уширения не постоянен, а сам зависит от концентрации через дебаевскую длину экранирования (1). Ионы примеси и свободные носители заряда противоположно заряжены, поэтому чем больше концентрация ионов примеси, тем сильнее силы притяжения между ионами и подвижными носителями заряда и, как следствие, меньше дебаевская длина экранирования.

Пересчет осуществлялся с использованием более общего случая — уравнения Фредгольма первого рода

$$y(x) = \int K(x, x')f(x')dx', \quad (4)$$

где $f(x)$ — распределение примеси, а ядром уравнения $K(x, x')$ выступает функция уширения, формируемая дебаевской длиной L_D :

$$K(x, x') = e^{-|x|L_D(x')}. \quad (5)$$

На рис. 6 представлены полученный в эксперименте профиль ОНЗ образца 3, а также рассчитанный по программе TRIM профиль примеси и пересчитанный из него профиль ОНЗ, учитывающий дебаевское размытие. Видно, что результаты моделирования и эксперимента различаются по глубине на величину 30 нм. Это различие мы связываем с особенностью исследуемых в данной работе структур — предельно низкой температурой отжига по сравнению с обычно используемой в технологии ионного имплантирования кремния. Необходимо также отметить, что в программе TRIM не учитываются температура и время отжига. По умолчанию считается,

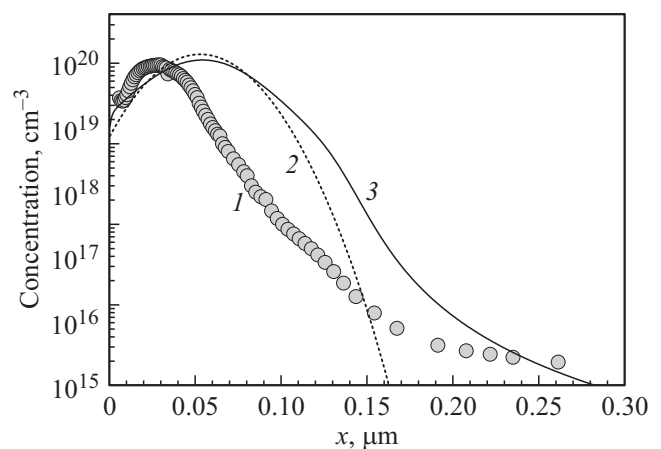


Рис. 6. Сопоставление эксперимента и расчета для структуры 3: 1 — экспериментальный концентрационный профиль ОНЗ; 2 — моделирование распределения имплантированной примеси в среде TRIM; 3 — пересчитанный из профиля примеси профиль ОНЗ.

что вся примесь встраивается в кристаллическую решетку и является электрически активной, не учитывается взаимодействие заряженных ионов между собой. Кроме того, ионная имплантация в исследуемые структуры проводилась при достаточно малых энергиях (10–45 кэВ). Использование программы TRIM для моделирования в этом диапазоне энергий может приводить к ошибке ~ 30% [18], поэтому TRIM, как правило, используется при энергиях имплантации ~ (0.2–1) МэВ. Мы полагаем, что перечисленные обстоятельства являются основной причиной различия полученных нами в эксперименте и рассчитанных с помощью программы TRIM профилей концентрации ОНЗ.

5. Заключение

В работе проведено исследование распределения по глубине основных носителей заряда в специально подготовленной серии кремниевых структур, имплантированных бором с различной энергией через покровные слои алюминия, оксида кремния и их комбинации.

По измеренным профилям концентрации основных носителей заряда путем численного дифференцирования получено распределение напряженности электрического поля вблизи поверхности исследуемых структур. Показано, что для создания максимального значения тянущего поля необходим резкий концентрационный профиль со значением концентрации вблизи поверхности не менее 10^{19} см^{-3} . Для этого необходимо проводить имплантацию через покровный слой, при этом максимум распределения имплантированной примеси должен находиться внутри покровного слоя. Оптимальную ситуацию, когда максимум напряженности электрического поля располагается наиболее близко к поверхности полупроводника, можно получить за счет варьирования энергии и дозы имплантации при заданной толщине покровного слоя. Так, эксперимент и расчет показывают, что при толщине покровного слоя алюминия в 45 нм оптимальными параметрами имплантации являются следующие: энергия 10 кэВ, доза $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Тогда максимум напряженности электрического поля будет располагаться на расстоянии ~ 16 нм от поверхности полупроводника и иметь амплитуду $5.1 \cdot 10^4 \text{ В/см}$.

Использование ионной имплантации с оптимальными параметрами дает возможность компенсировать эффект снижения эффективности сбора заряда после нанесения покровных слоев и позволяет при сохранении чувствительности прибора уменьшить величину прикладываемого ускоряющего напряжения.

Проведено сравнение экспериментальных профилей концентрации с результатами моделирования в программе TRIM. Расхождение между результатом моделирования и экспериментом мы связываем с тем, что программа TRIM не учитывает особенности технологического процесса, в частности температуру отжига.

Список литературы

- [1] L. Hirvonen, S. Jiggins, N. Sergent, G. Zanda, K. Suhling. *Rev. Sci. Instrum.*, **85**, 123 102 (2014).
- [2] M. Gruwe. *Nucl. Instr. Meth. A*, **387** (1), 282 (1997).
- [3] J.C. Richard, M. Vittot. *Nucl. Instr. Meth. A*, **315**, 368 (1992).
- [4] R.A. Stern, R.C. Catura, R. Kimble, A.F. Davidsen, M. Winzenread, M.M. Blouke, R. Hayes, D.M. Walton, J.L. Culhane. *Opt. Eng.*, **26** (9), 875 (1987).
- [5] T. Ambridge, M. Faktor. *J. Appl. Electrochem.*, **5**, 319 (1975).
- [6] V. Zubkov, O. Kucheroва, D. Frolov, A. Zubkova. *Phys. Status Solidi C*, **10** (3), 342 (2013).
- [7] В.И. Зубков. *Диагностика полупроводниковых наноструктур методами спектроскопии адмиттанса* (СПб., Элмор, 2007).
- [8] F.D. Heinz, P. Gundel, W. Warta, M.C. Schubert. *IEEE J. Photovolt.*, **3** (1), 341 (2013).
- [9] S.P. Phang, D. Macdonald. *IEEE J. Photovolt.*, **4** (1), 64 (2014).
- [10] A. Kumar, H. Hidayat, C. Ke, S. Chakraborty, G.K. Dalapati, P.I. Widenborg, C.C. Tan, S. Dolmanan, A.G. Aberle. *J. Appl. Phys.*, **114**, 134 505 (2013).
- [11] M.M. Blouke, W.A. Delamere, G. Womack. *Proc. IEEE CCD Workshop* (Waterloo, Canada, 1991) p. 14.
- [12] А.А. Пугачев, А.Л. Стемповский. *Сб. тр. I Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем»* (М., 2010) с. 648.
- [13] Е.М. Вербичкая, В.К. Еремин, А.М. Маляренко, Н.Б. Строкан, В.Л. Суханов, Б. Шмидт, И. Борани. *ФТП*, **27** (12), 2052 (1993).
- [14] C.-M. Lee, S.-P. Chang, S.-J. Chang, C.-I. Wu. *Int. J. Electrochem. Sci.*, **8**, 7634 (2013).
- [15] B.L. Wall, J.F. Amsbaugh, A. Beglarian, T. Bergmann, H.C. Bichsel, L.I. Bodine, N.M. Boyd, T.H. Burritt, Z. Chaoui, T.J. Corona et al. *Nucl. Instr. Meth. A*, **744**, 73 (2014).
- [16] D. Kapila, M. Kulkarni, C. Fernando, J. Davis, K. Vasanth, G. Pollack. *Tech. Proc. 1998 Int. Conf. Modeling and Simulation of Microsystems* (USA, 1998), ch. 5, p. 199.
- [17] S. Oosterhoff. *Nucl. Instr. Meth.*, **30** (1), 1 (1988).
- [18] J. F. Ziegler. *Ion Implantation — Science and Technology* (USA, IIT Press, 2006).

Редактор Л.В. Шаронова

Investigation of ion-implanted photosensitive silicon structures by means of electrochemical capacitance–voltage profiling

*G.E. Yakovlev**, *D.S. Frolov**, *A.V. Zubkova**,
E.E. Levina⁺, *V.I. Zubkov**, *A.V. Solomonov**,
O.K. Sterlyadkin⁺, *S.A. Sorokin*⁺

* St. Petersburg State Electrotechnical University „LETI“,
197376 St. Petersburg, Russia

⁺ OJSC National Research Institute „Electron“,
194223 St. Petersburg, Russia

Abstract Silicon structures implanted with boron for CCD matrix with back side illumination were investigated by means of electrochemical capacitance–voltage profiling. The structures were specially fabricated using various energies and doses of implantation, as well as various materials were used as their coating layers: Al, silicon oxide and their combinations. The concentration profiles of charge carriers over the structure depth were experimentally obtained. Further using Poisson equation and Fredholm equation of the first kind the distribution of charge carrier concentration and electric field intensity in depth of the structures were calculated. By analyzing and comparison of theoretical and experimental concentration profiles the recommendations for optimization of structure parameters were proposed aiming at increase of sweeping field and decrease of surface potential impact on charge carrier transport.