



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
İyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 827-829
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ГЕНЕРАЦИОННОЕ ВРЕМЯ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ В ДЕТЕКТОРАХ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ВЫСОКООМНОГО КРЕМНИЯ

**ДЖАФАРОВА Э.А., ТАПДЫГОВ Э.С., ИСКЕНДЕР-ЗАДЕ З.А.*,
АЛИХАНОВА Ш.А., САФАРОВ Н.А.**

*Институт Физики АН Азербайджана AZ1143, Баку, пр.г.Джавида, 33
Азербайджанский Технический Университет AZ1073, Баку, пр.Г.Джавида, 25*
e-mail: delm@physics.ab.az*

Были изготовлены тестовые МОП структуры на пластинах из высокоомного кремния ($\rho \sim 2000$ Омсм). Измерения генерационного времени жизни носителей с помощью метода релаксации инверсного слоя в МОП структуре показали, что в кремнии, прошедшим процесс геттерирования, наблюдается восстановление больших времен жизни (~ 2 мс), как в исходном кремнии, в то время как в негеттерированных времена жизни в результате высокотемпературного воздействия уменьшались до ~ 5 мкс.

Долгое время основным материалом для изготовления различных слабоионизирующих частиц являлся компенсированный кремний. Это было вызвано наличием определенных критериев при подборе материала активного элемента: высокое сопротивление базы, достаточно большая протяженность обедненной области. Этим критериям удовлетворяли Si(Li) диодные детекторы, изготовленные по так называемой 'литиевой технологии' [1]. Интенсивное развитие материаловедения и технологии привели к возможности получения высокочистого кремния, в большей мере удовлетворяющего современным требованиям к детекторному материалу.

Современные детекторы слабоионизирующих частиц представляют собой, в основном p⁺-n - переход на основе высокочистого кремния с $\rho = 2 \div 5$ ком. Для этого используется кремний, вырощенный методом безтигельной зонной плавки. При высоких удельных сопротивлениях, такой кремний характеризуется большими временами жизни неосновных носителей (ВЖНН), достигающим $3 \div 5$ мс. Однако, в процессе изготовления детекторов высокотемпературные ($T \approx 1000^\circ$) воздействия на кремний приводят к возникновению различных структурных дефектов, в большинстве своем электрически активных [2]. Наличие таких дефектов в области пространственного заряда (ОПЗ) диода приводит к резкому увеличению тока утечки, что

отрицательно сказывается на шумовых характеристиках детектора.

В самом деле, ток утечки обратносмещенного диода в планарном исполнении состоит из трех компонент [3/

$$I_g = I_o + I_d + I_s \quad (1)$$

где I_o - генерационный ток, возникающий в ОПЗ диода,

$$J_o = q \frac{n_i}{\tau_g} A_g W \quad (2)$$

q - элементарный заряд, τ_g - генерационное время жизни, A_g - площадь диода, W - толщина ОПЗ, n_i - собственная концентрация носителей в Si при 300 К; J_d - обратный ток насыщения (диффузионный ток),

$$J_d = q \frac{n_i^2 D_p}{N_d L_p} A_g \quad (3)$$

D_p - коэффициент диффузии дырок, L_p - диффузионная длина дырок, N_d - концентрация доноров.

I_s - генерационный ток в областях ОПЗ, выходящих на поверхность:

$$J_s = q n_i S_o P_g W \quad (4)$$

S_o - поверхностная скорость генерации, P_g - периметр контакта.

Для случая полностью обедненной области пространственного заряда основной вклад в ток утечки вносит I_o . Как видно из (2), I_o обратно пропорционально τ_g , поэтому сохранение высокого значения τ_g является основополагающим при изготовлении малошумящего детектора частиц.

Для удаления примесей и дефектов из активной области кремниевых детекторов может найти применение техника геттерирования / 4 /, использующая образующиеся во время термических обработок кислородные преципитаты. Внутреннее геттерирование до недавнего времени успешно применялось только к кремнию, выращенному методом Чохральского с высоким содержанием кислорода ($\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Недавно Наука и др. обнаружили, что в среде $O_2 + HCl$ внутреннее геттерирование достигается так же в кремнии, выращенном методом бестигельной зонной плавки /5/. В этом случае, внутреннее геттерирование основывается на динамике процесса комплексообразования дефектов внедрения с металлическими примесями.

Одним из эффективных методов контроля времени жизни носителей заряда в кремнии при проведении технологических операций в микроэлектронике, в частности, при изготовлении детектора, является метод релаксации инверсного слоя в МОП структуре /6/.

МОП структуры были изготовлены на кремниевых пластинах n – типа проводимости, ориентации (111), с удельным сопротивлением 2000 Ом·см, исходным временем жизни неосновных носителей 2 мс. В качестве контакта был напылен алюминий в виде прямоугольника площадью 1 мм² и 2 мм². Маршрутная карта технологического процесса изготовления МОП структур приведена на рис.1. Толщина выращенного окисла 0,35 мкм. С тыльной стороны, подвергнутой травлению, была произведена имплантация ионов фосфора с $E = 50 \text{ КэВ}$ и дозой 10^{15} ион/см², а далее напылен сплошной слой алюминия. Были изготовлены две партии МОП структур: на кремнии подвергнутом (1партия) и не подвергнутом (2партия) температурному геттерированию /4/.

Измерения времени жизни τ_g на МОП структуре основано на исследовании процесса генерации неосновных носителей заряда в обедненной области глубокого обеднения в квазиравновесное состояние с образованием инверсного слоя. Основы этого метода детально рассмотрен в /7/. При подаче на МОП структуру импульса напряжения достаточно большой амплитуды и длительности с полярностью, соответствующей выведению основных носителей из объема, структура переходит в режим неравновесного обеднения. При этом ОПЗ расширяется без образования инверсного слоя, т.к. неосновные носители еще не подтянулись к границе раздела Si – SiO₂. В течении некоторого времени благодаря термической генерации происходит накопление неосновных носителей под окислом, в то время как основные носители вытягиваются полем в

нейтральную область. По мере их накопления ОПЗ уменьшается, стремясь к своему квазиравновесному состоянию.

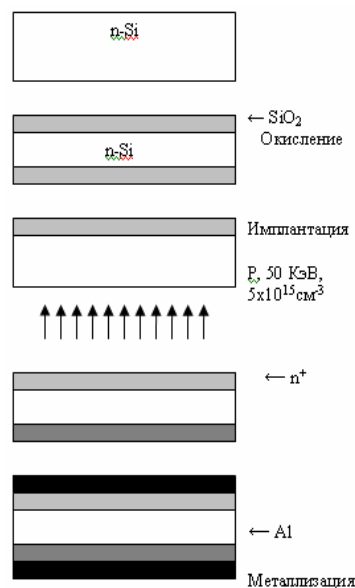


Рис.1 Маршрутная карта изготовления МОП-структур

Изменение толщины обедненного слоя ведет к изменению емкости МОП структуры. Время T , в течении которого образуется равновесный инверсный слой, называют временем релаксации инверсного слоя.

Из предположения, что в обедненном слое доминирует генерация, время релаксации оценивается как

$$T = \frac{N_d}{n_i} 2\tau_g \quad (5)$$

Определяя из C-V и C-t измерений на МОП структурах время релаксации T и концентрацию основных носителей N_d , можно оценить генерационное время жизни.

Блок-схема установки для измерения C-V и C-t характеристик приведена на рис.2. На рисунке D – держатель образца, МПП- мост полных проводимостей, УРМ – усилитель разбаланса моста, ДЛ – линейный детектор, О- осциллограф, РБП-регулируемый блок питания, К- коммутирующий ключ, ИК – измерительный конденсатор. Измерения проводились на частоте = 300 КГц.

При инверсии измеряемая емкость структуры C_{min} – есть последовательное соединение емкости диэлектрика C_{ox} и емкости максимально обедненного слоя полупроводника C_{dmin} . Если учесть, что

$$C_{dmin} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{x_{dmax}}$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость кремния, ϵ_0 - постоянная вакуума, S – площадь контакта, x_{max} - максимальная глубина обедненного слоя при инверсии, то полная емкость структуры равна:

$$\frac{1}{C_{\min}} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_{d\min}} \quad (6)$$

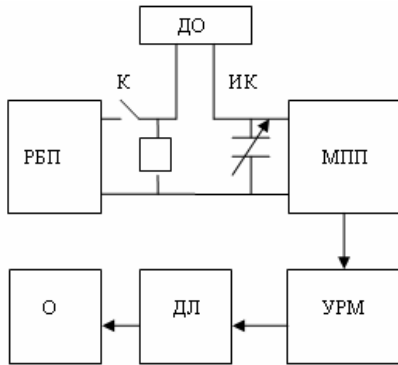


Рис.2 Блок-схема измерительной установки

Максимальная толщина объемного заряда вычисляется по значению поверхностного электростатического потенциала, при котором концентрация неосновных носителей заряда на поверхности полупроводника достигает значения объемной концентрации основных носителей /7/.

$$X_{d\max} = 2 \sqrt{\frac{\epsilon_o \epsilon k T}{q^2 N_d} \ln \frac{N_d}{n_i}} \quad (7)$$

Подставляя (7) и (6) после преобразований получим

$$N_d = \frac{4kT}{\epsilon_o \epsilon q^2 S^2} \ln \frac{N_d}{n_i} \left(\frac{C_d - C_{\min}}{C_d * C_{\min}} \right)^{-2} \quad (8)$$

На рис.3 приведена характерная C-V кривая МОП структуры из 1-й партии. Здесь C_{\min} , равная 8 пф, соответствует емкости структуры в состоянии глубокой инверсии и определяется емкостью глубоководенной ОПЗ кремния. C_{ox} , равная 108 пф, соответствует емкости структуры в состоянии обогащения и определяется емкостью окисла.

Подставляя C_{\min} и C_{ox} в уравнение (8) можно определить концентрацию ионизованных центров в ОПЗ кремния:

$$N_d = 2,3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

На рис.4 приведен график зависимости той же структуры от времени при переводе ее из состояния обогащения в состояние глубокого обеднения и дальнейшего накопления неосновных носителей под окислом МОП структуры. Время релаксации $t = 0,8$

сек. Отсюда, подставляя T в уравнение (5) определяем генерационное время жизни $\tau_g = 2,6$ мс.

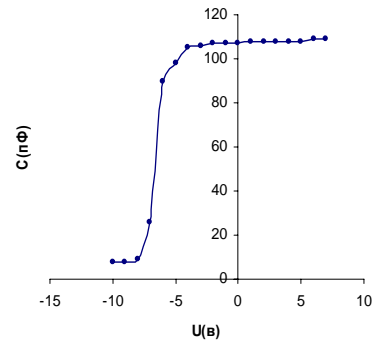


Рис.3 Зависимость емкости МОП-структуры от приложенного напряжения

Для МОП структур из II партии (негеттерированных) исследованных аналогичным способом были получены генерационные времена жизни носителей $\tau_g \approx 5$ мкс.

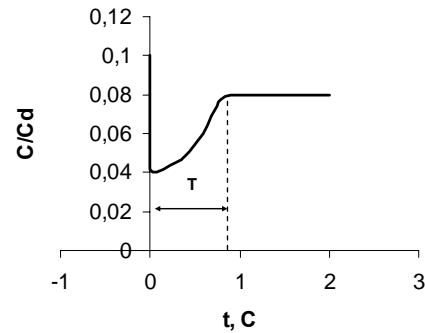


Рис.4 Зависимость приведенной емкости МОП-структуры от времени при переходе ее из состояния обогащения в состояние глубокого обеднения

Таким образом установлено, что применение геттерирования в технологии изготовления детектора на базе высокоомного кремния позволяет сохранить достаточно высокие значения генерационного времени жизни. Пластины, не прошедшие геттерирования показывают на три порядка меньшие значения генерационного времени жизни.

[1]. М.Г.Горнов. ПТЭ, 1988, №2, 57.
 [2]. С.Ј.Varker and K.Ravi. J. Appl.Phys., 45, №1, 1974, 272
 [3]. P.J. Van Wijnen and W.R.Ten Kate, Nucl.Instrum. and Methods in Phys. Research, A253, 1987, p.351
 [4]. А.А.Байрамов, А.А.Маилов. Препринт ИФАН, №362, Баку, 1990.
 [5]. К.Nauka et all., J. Appl.Phys., 60, №2, 1986, 615

[6]. Л.П.Павлов. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М., Высшая школа, 1987, 240с.
 [7]. С.3и. Физика полупроводниковых приборов. Москва «Мир», 1984
 [8]. В кн. «Свойства структур металл-диэлектрик-полупроводник». Под ред. А.В.Ржанова, Изд. «Наука», 1976