

НИИЭФА - П-Д - 0826

НИИЭФА П-Д-0826

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ им. Д.В.ЕФРЕМОВА

А.Л.Бортнянский, М.Л.Клопенков,

М.В.Павловец, С.Г.Шемилинин

ИССЛЕДОВАНИЕ "ЗАХОРОНЕННЫХ" СЛОЕВ
ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО
РЕЗЕРФОРДОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ

П р е п р и н т

МОСКВА
ЦНИИАТОМИНФОРМ
1989

Бортинский А. Л., Клопанков М. Л., Павловец М. В., Шемилкин С. Г.
Исследование "захороненных" слоев диоксида кремния методом
обратного резерфордского рассеяния ионов: Препринт Д-8826.-
М.: ЦНИАтоминформ, 1989, 4 с., с ил., цена 6 к.

Описана методика исследования структур вида $Si/SiO_2/Si$ методом обратного резерфордского рассеяния ионов. Методика отработывалась на кремниевых пластинах с пленкой окиси на поверхности, покрытых слоем чистого кремния. Полученные результаты показывают, что данная методика позволяет реализовать предельные возможности метода.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	1
1. Физические основы метода ORP	1
2. Техника эксперимента	2
3. Экспериментальные результаты	3
Заключение	5
Список литературы	6

ВВЕДЕНИЕ

Структуры, представляющие собой монокристаллическую пластину кремния с сформированным на некоторой глубине под ее поверхностью слоем диоксида кремния ("захороненный" слой), рассматриваются в настоящее время как основа для создания новых микроэлектронных приборов /1/. Особенностью этих приборов является то, что отдельные элементы интегральных схем изолируются от общей подложки и друг от друга сплошным слоем диэлектрика - оксида кремния, что повышает их устойчивость к внешним воздействиям, быстродействие и улучшает ряд других характеристик /2/. Перспективным способом создания структур со скрытым диэлектрическим слоем является синтез этого слоя путем имплантации в кремний больших доз ионов кислорода с последующим высокотемпературным отжигом /3/. Качество получаемой таким образом исходной структуры весьма существенно для работоспособности и параметров создаваемых в ней приборов. Это качество, в частности, можно характеризовать профилем распределения кислорода по глубине, степенью поврежденности кристаллической структуры кремниевого слоя, наличием посторонних примесей и другими данными, получаемыми различными аналитическими методами. Большими возможностями для исследования приповерхностных слоев и тонкопленочных структур обладают методы ядерного микроанализа /3,4,5/. В настоящее время в мире находятся в эксплуатации многие сотни установок, серийно выпускаемых промышленностью. В НИИЭФА им. Д.В.Ефремова создана установка для анализа поверхности на базе трех ядерно-физических методов: мгновенного излучения ядерных реакций, рентгеноспектрального анализа с ионным возбуждением и метода обратного резерфордского рассеяния ионов (ОРР). Из последних важным инструментом для исследования "захороненных" слоев диоксида кремния является метод ОРР /3/.

Целью настоящей работы является проведение предварительных экспериментов, направленных на применение метода ОРР для исследования описанных выше структур со скрытым диэлектрическим слоем. Нами исследовались монокристаллические кремниевые пластины с выращенным на их поверхности термическим диоксидом, поверх которого нанесен слой чистого кремния. Такие образцы в некотором смысле имитируют структуры для формирования микроэлектронных приборов.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ОРР

Кратко остановимся на основах метода ОРР, схема которого представлена на рис. 1.

Коллимированный пучок моноэнергетичных ионов (чаще всего используют ионы гелия и водорода) с массой M_1 , порядковым номером Z_1 и энергией E_0 , направляется на поверхность исследуемого образца, частично отражается от поверхности, а частично проходит вглубь, рассеиваясь на атомах, лежащих в глубине мишени. Рассеянные частицы с определенной энергией могут выходить из мишени в различных направлениях, в одном из которых под углом θ они детектируются. На рис. 1 схематично показан спектр обратного рассеяния от тонкой монослойной пленки с атомной массой M_2 и порядковым номером Z_2 .

Энергия иона, испытавшего рассеяние на атомных ядрах, находящихся на самой поверхности мишени, равняется

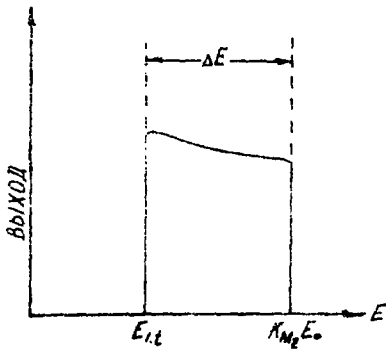
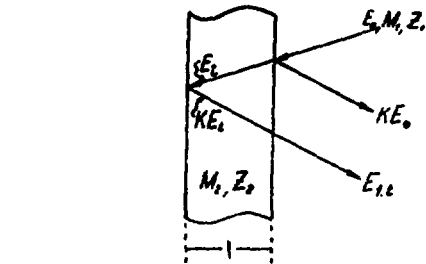
$$E = K_{M_2} E_0, \quad (1)$$

где K_{M_2} — кинематический фактор упругого рассеяния на атоме элемента с атомной массой M_2 , представляющий собой отношение энергии иона после рассеяния к энергии иона до столкновения. Благодаря зависимости кинематического фактора от массы элементов метод ОРР позволяет отличать по массам атомы различных элементов, присутствующих в образце.

Шкала энергий обратнорассеянных частиц однозначно связана со шкалой глубин с началом в точке $K_{M_2} E_0$. Разница энергий ΔE анализируемых в детекторе частиц, рассеянных от поверхности и с глубины t , складывается из энергопотерь анализируемых ионов при прохождении через слой толщиной t в прямом и обратном направлениях и разницы между упругими потерями при столкновении с атомами на поверхности и границе слоя. Имеется прямая связь между толщиной слоя и полной шириной сигнала ΔE . Для не очень больших толщин пленок (≤ 0.5 мкм) справедливо выражение

$$\Delta E = [\bar{S}] t, \quad (2)$$

Рис. 1. Схема процесса обратного рассеяния ионов в тонкой монокристаллической пленке (вверху) и спектр обратного рассеяния этой пленки (внизу)



где $[\bar{S}]$ — фактор энергетических потерь — параметр, учитывающий потери энергии при обратном рассеянии, который зависит от кинематического фактора K_M и от энергопотерь на единицу длины dE/dt :

$$[\bar{S}] = K_M \left. \frac{dE}{dt} \right|_{\text{ВЛЕТ}} + 1/\cos\theta \left. \frac{dE}{dt} \right|_{\text{ВЫЛЕТ}}. \quad (3)$$

Таким образом, применение метода ОРР позволяет определять наличие элементов и их распределение по глубине мишени, поэтому обратное рассеяние можно справедливо считать микроскопией, различающей элементы и глубину их залегания. Подробнее возможности метода описаны в работах /4-6/.

2. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Схема эксперимента представлена на рис. 2. Пучок ионов $^4\text{He}^+$ с энергией $E_0 = 2$ МэВ от электростатического ускорителя

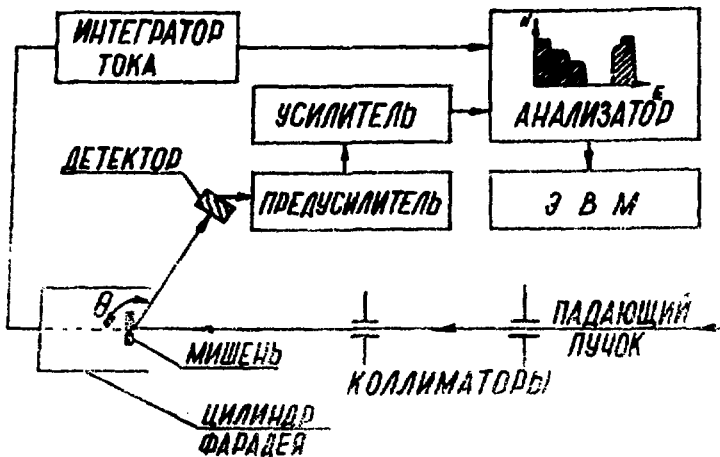


рис. 2. Схема эксперимента по обратному рассеянию ионов

ЭГ-СТ после коллимирования двумя парами взаимно перпендикулярных щелей проходит в мишенную камеру и попадает на анализируемый образец, закрепленный на держателе мишеней [7]. Щелевые приборы с помощью микрометрических винтов позволяют сформировать пучок требуемых размеров. При размерах пучка $1 \times 1 \text{ мм}$ его угловая расходимость составляет $0,05^\circ$. Ток пучка на мишени изменяется в пределах $10 \div 100 \text{ нА}$ в зависимости от требований эксперимента.

Исследуемые образцы устанавливаются на специальном держателе в центре камеры рассеяния внутри цилиндра Фарадея и могут поворачиваться на различные углы относительно направления падающего пучка.

Рассеянные частицы регистрируются поверхностно-барьерным детектором с энергетическим разрешением $16 \div 19 \text{ кэВ}$. Анализ рассеянных частиц по энергиям производится спектрометрическим трактом, состоящим из предусилителя, основного усилителя и амплитудного анализатора LP-4900. Детектор устанавливается под различными углами относительно направления падающего пучка. В настоящей работе детектор размещался под углом 170° .

Величина интегральной дозы облучения определяется с точностью не хуже 5% по показаниям интегратора тока, соединенного с держателем мишеней и цилиндром Фарадея.

Рабочее давление в мишенной камере 10^{-5} Тор .

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

На рис. 3 представлен экспериментальный спектр монокристаллической пластины кремния с пленкой оксида на ее поверхности. Задача исследования образца вида Si/SiO_2 состояла в определении толщины окисного слоя на поверхности кремния. Обработка данных проводилась путем моделирования на ЭВМ спектра упругого рассеяния и сравнения его с экспериментальным спектром. Сплошной линией на рис. 3 показан расчетный спектр. Анализ показал, что толщина окисного слоя образца составляет

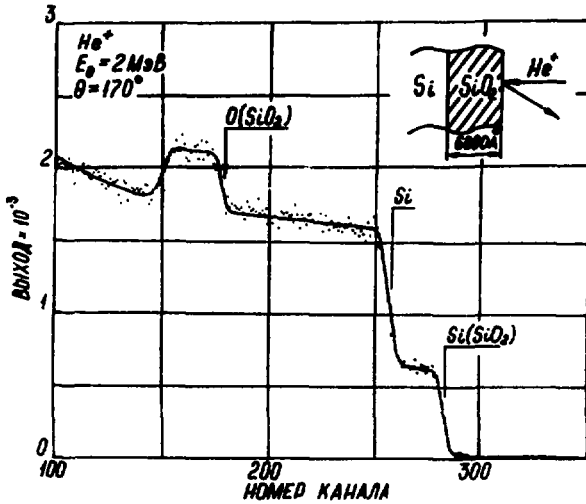


Рис. 3. Энергетический спектр обратнорассеянных ионов ${}^4\text{He}^+$ с энергией 2 МэВ для кремниевой мишени с пленкой окиси на поверхности (сплошной линией показан расчетный спектр)

$(6800 \pm 200)\text{А}$ или $(1.50 \pm 0.05) \cdot 10^{18}$ ат/см².

На рис. 4 представлен экспериментальный спектр образца вида $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$.

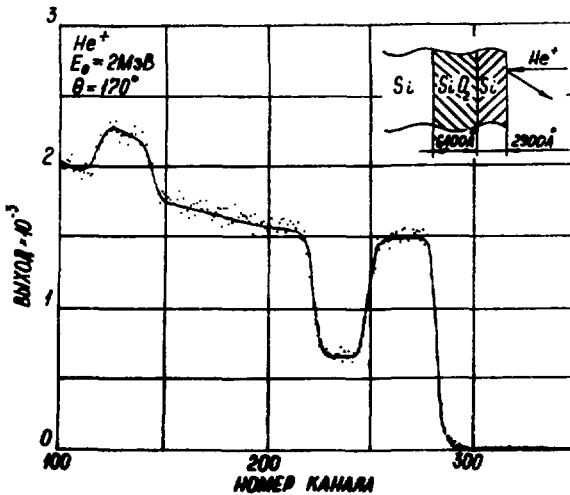


Рис. 4. Энергетический спектр обратнорассеянных ионов ${}^4\text{He}^+$ с энергией 2 МэВ для кремниевой мишени с пленкой окиси на поверхности, поверх которой нанесен слой чистого кремния (сплошной линией показан расчетный спектр)

Это монокристаллическая пластина кремния с окисной пленкой на поверхности, поверх которой нанесен слой чистого кремния. Задача исследования состояла в определении состава и структуры образца. Спектр также анализировался методом математического моделирования. Сплошной линией показан расчетный спектр. Расчеты показывают, что толщина окисного слоя равна $(6400 \pm 200) \text{ \AA}$ или $(1.40 \pm 0.05) \cdot 10^{18} \text{ ат/см}^2$. Слой залегает на глубине $(2900 \pm 100) \text{ \AA}$. Таким образом, толщина слоя чистого кремния над окисной пленкой составляет $(2900 \pm 100) \text{ \AA}$ или $(1.5 \pm 0.05) \cdot 10^{18} \text{ ат/см}^2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика исследования структур вида Si/SiO₂/Si методом OPR. Отработка методики проводилась на модельных образцах, представляющих собой кремниевые пластины, покрытые пленкой окиси кремния, на которую методом вакуумного напыления наносилась пленка чистого кремния. Полученные результаты показывают, что данная методика позволяет реализовать предельные возможности метода. Метод OPR является наиболее удобным для определения профиля концентрации кислорода и стехиометрического состава "захороненного" окисного слоя. Метод является абсолютным и неразрушающим и может служить для калибровки методов с более высоким разрешением по глубине и по поверхности и более высокой чувствительностью по кислороду, таких, как масс-спектроскопия вторичных ионов, Оже-спектроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская фотоэлектронная микроскопия, необходимых для более детального исследования микроструктуры. В дальнейшем предполагается продолжить эту работу применительно к имплантированным образцам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fathy D. et al. Commercial use for SOI chips // Electronics weekly. 1987. No. 1373. P.22.
2. Lam H.W. SIMOX. SOI Integrated Circuit Fabrication // Proc. IEEE Custom Integrated Circuits Conference. N.Y., 1987. P.427.
3. Wilson J.N. Synthesis of silicon dioxide by ion implantation // Nucl. Instrum. and Meth. 1984. B1. P.331-343.
4. Chu W.K., Mayer J.W., Nicolet M.A. Backscattering spectrometry. N.Y.: Academic Press, 1978.
5. New Uses of Ion Accelerators / Ed. by J.F. Zigler. N.Y.: Plenum Press, 1975.
6. Бортнянский А.Л., Клопенков М.Л., Котаи Э. и др. Установка обратного резерфордского рассеяния для анализа состава, структуры и свойств поверхностных слоев твердого тела. - М., 1989. - 19 с. (Препринт/ЦНИИатоминформ: Д-0809).
7. Бортнянский А.Л., Гаренков В.С., Киршин Г.Ф. и др. Автоматическая система анализа поверхности методом обратного резерфордского рассеяния на базе ускорителя ЭГ-5Т // Материалы Всес. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989, с.150.

Арнольд Леонидович Бортнянский,
 Михаил Леонидович Клопенков,
 Михаил Владимирович Павловец,
 Сергей Григорьевич Шемилевкин

ИССЛЕДОВАНИЕ "ЗАХОРОНЕННЫХ" СЛОЕВ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ
 МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РЕЗЕРФОРДСКОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ

Редактор В.Л.Гусева

 Подписано в печать 17.03.89. Т-09238. Формат 60*90/16.
 Осетная печать. Уч.-изд.л. 0,4. Тираж 140 экз.
 Зак. # 5/160. Индекс 3624. Цена 6 к.

Отпечатано в НИИЭФА