

06;12

К вопросу влияния методов формирования защитного окисла при создании многоэлементной структуры фотоприемника мультискан на стабильность темнового тока

© Б.Г. Подласкин, Е.Г. Гук

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

E-mail: bgp@holo.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 28 сентября 2006 г.

Исследовано влияние различных методов окисления на стабильность темнового тока в структурах, моделирующих конструкцию позиционно-чувствительного датчика мультискан. Используемые методы формирования окисла проанализированы с точки зрения соотношения величины вклада объемной и поверхностной составляющей темнового тока. Показано, что применение плазмохимического окисления позволяет совместить стабильность темного тока с преимуществами низкотемпературного окисления.

PACS: 81.05.-t, 85.60.Dw

Позиционно-чувствительные датчики представляют собой достаточно большой класс полупроводниковых приборов, основными достоинствами которых являются высокая точность координатоуказания при большой скорости обработки сигнала. Многоэлементный позиционно-чувствительный фотоприемник интегрального типа мультискан занимает среди таких датчиков особое место и отличается высокими, а в ряде случаев рекордными параметрами (разрешающая способность до $0.2\mu\text{m}$ и точность координатоуказания до 10^{-4} от поля зрения прибора [1]).

Целью данной работы явилось исследование влияния различных методов окисления на стабильность темновых токов фотодиодов.

Конструктивно мультискан представляет собой кремниевую структуру, изготовленную на КСДИ-подложке (кремний с диэлектрической изоляцией) и содержащую созданный внутри двух изолированных

„карманов“ набор из 600 пар встречно включенных диодов диаметром $10\ \mu\text{m}$. После изготовления диодов производится формирование слоя SiO_2 , служащего для защиты диодов и для маскирования при последующей диффузии фосфора. Традиционно это окисление, проводимое в сухом или влажном кислороде при высоких температурах ($900 \div 1200^\circ\text{C}$), обеспечивает формирование плотных окисных слоев и позволяет получать на границе раздела фаз низкую плотность поверхностных состояний. Однако высокая температура, используемая при этом методе, вызывает нежелательное увеличение глубины p – n -перехода. Несмотря на многолетнее широкое применение этого метода в полупроводниковой технологии, механизмы процессов, протекающих на границе раздела $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$, продолжают оставаться предметом исследования [2,3].

Значительный интерес представляет переход к формированию двуокиси кремния осаждением: пиролитическим и плазмохимическим. Такое осаждение осуществляется обычно при достаточно низких температурах, при которых отсутствует неконтролируемая термодиффузия примесей, способная привести к ухудшению электрофизических параметров прибора в результате снижения времени жизни неосновных носителей заряда либо к изменению профиля сформированных p – n -переходов. Пиролитическое осаждение окиси кремния из газовой фазы происходит обычно при 500°C . Процесс плазменного окисления кремния позволяет создавать слои SiO_2 при минимальных температурах ($100 \div 350^\circ\text{C}$). Плазменные оксиды, будучи сформированы при существенно более низких температурах, не обладают дефектами упаковки, не создают механических напряжений на границах раздела окисел–подложка и в ряде случаев имеют более совершенную структуру границы [4], что позволяет использовать плазмохимический оксид кремния в качестве подзатворного диэлектрика [5]. При осаждении двуокиси кремния в плазме высокой плотности, например, в установках электронного циклотронного резонанса, его качество может быть очень высоким [6].

Однако граница раздела Si/SiO_2 между встречно включенными диодами представляет собой критическую область, содержащую различные по природе заряды и ловушки, концентрация которых зависит от качества поверхности окисляемого кремния, метода формирования окисла и условий его использования, а также от состава полученного слоя SiO_2 . Все эти факторы влияют на величину скорости поверхностной рекомбинации на границе раздела Si/SiO_2 . Действительно, как показал статистический анализ параметров позиционно-чувствительных

датчиков мультискан, в ряде приборов (даже изготовленных традиционным способом с применением термического окисла) наблюдается дрейф выходного напряжения, соответствующего положению координаты оптического сигнала в четвертом или пятом знаке от номинальной величины, в течение временного интервала от 10 минут до нескольких часов. Основные причины такой нестабильности определяются процессами поверхностной рекомбинации на границе слоя Si/SiO₂. Преимущества формирования двуокиси кремния осаждением при изготовлении мультискана могут оказаться перечеркнутыми снижением стабильности параметров прибора, вызванными применением этих методов.

Конструкция мультискана и малый диаметр единичного диода не позволяют провести детальное исследование влияния методов окисления на стабильность параметров единичного диода непосредственно на самом приборе. Поскольку контролю и измерению доступны лишь интегральные параметры фотоприемника, мы провели моделирование основных процессов, входящих в технологический цикл изготовления мультискана, сформировав на пластинах монокристаллического кремния массивы отдельных диодов, диаметр которых позволяет проводить непосредственные измерения необходимых параметров. Для этих целей были использованы пластины монокристаллического кремния КЭФ-7.5 с ориентацией $\langle 100 \rangle$, являющегося традиционным материалом при формировании монокристаллического слоя в КСДИ структурах.

На первом этапе, согласно разработанному технологическому циклу изготовления мультискана, полированные пластины КЭФ-7.5 окислялись в сухом кислороде с добавлением HCl. Затем в полученном окисле с помощью фотолитографии вытраивали окна, в которых формировались диоды пиролитическим осаждением p^+ поли Si.

Для исследования влияния качества окисла, служащего для защиты созданных диодов и для маскирования при последующей диффузии фосфора, формирование II слоя SiO₂ проводилось с помощью 4 различных методов:

- 1) термического окисления в сухом кислороде ($T = 1150^\circ\text{C}$, $h = 0.22 \mu\text{m}$);
- 2) термического окисления во влажном кислороде ($T = 1000^\circ\text{C}$, $h = 0.25 \mu\text{m}$);
- 3) пиролитического осаждения окисла ($T = 450^\circ\text{C}$, $P = P_{\text{atm}}$, $h = 0.25 \mu\text{m}$);
- 4) плазмохимического окисления (осаждение в плазме высокой плотности $T = 200^\circ\text{C}$, $h = 0.25 \mu\text{m}$).

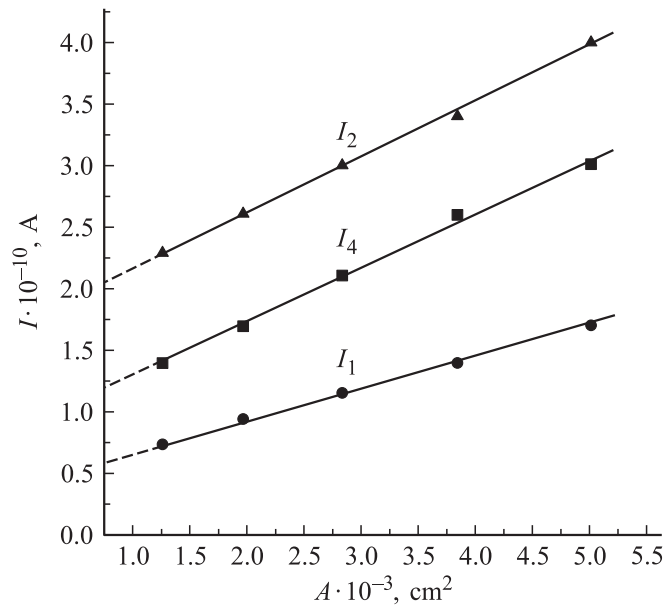


Рис. 1. Зависимости темнового тока от площади диодов для планарных диодных структур. I_1 — темновой ток диодных структур, полученных методом термического окисления в сухом кислороде; I_2 — темновой ток диодных структур, полученных методом термического окисления во влажном кислороде; I_4 — темновой ток диодных структур, полученных методом плазмохимического окисления.

После формирования II слоя SiO_2 перечисленными методами в нем вытравливались окна, в которые проводилась диффузия фосфора. С целью контроля параметров диодов на заключительной стадии с помощью фотолитографии вскрывались окна и осуществлялось формирование контактов.

В качестве параметра, позволяющего характеризовать стабильность сформированных диодных структур, измерялись величина и стабильность темнового тока на каждом диоде из достаточно представительной выборки (100 штук).

Темновой ток (I_d) представляет собой сумму объемной составляющей (I_v), пропорциональной площади диода (A), и поверхностной

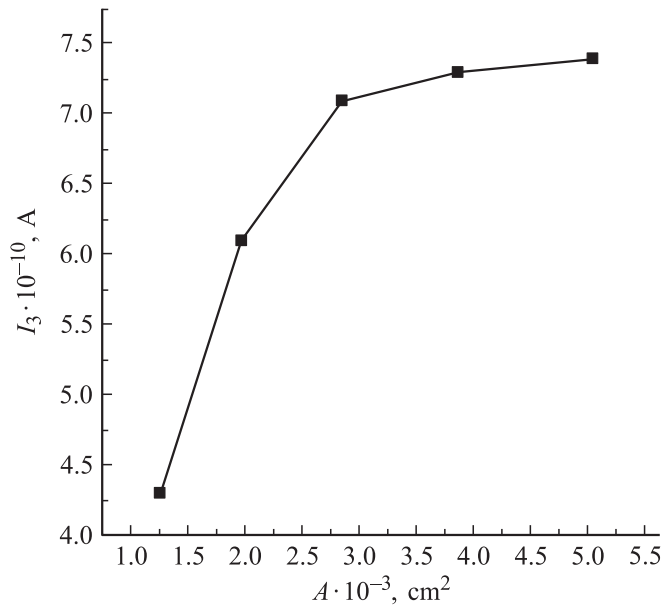


Рис. 2. Зависимость темнового тока от площади диодов для планарных диодных структур, полученных методом пиролитического осаждения окисла.

составляющей (I_S), пропорциональной периметру диода (P) [7]

$$I_d = I_V A + I_S P. \quad (1)$$

Поскольку, как было сказано выше, наибольшую нестабильность в значение темнового тока вносит поверхностная рекомбинация на границе раздела Si/SiO₂, следует проанализировать использованные методы формирования окисла с точки зрения соотношения величины вклада объемной и поверхностной составляющей темнового тока. С целью разделения объемной и поверхностной составляющей измеряемого темнового тока на каждой пластине был создан набор диодов различного диаметра ($D = 600, 500, 400, 300, \text{ и } 200 \mu\text{m}$), на которых были измерены величина темнового тока и его временной дрейф.

В случае слабого вклада поверхностной составляющей в темновой ток зависимость последнего от площади диода A будет линейной.

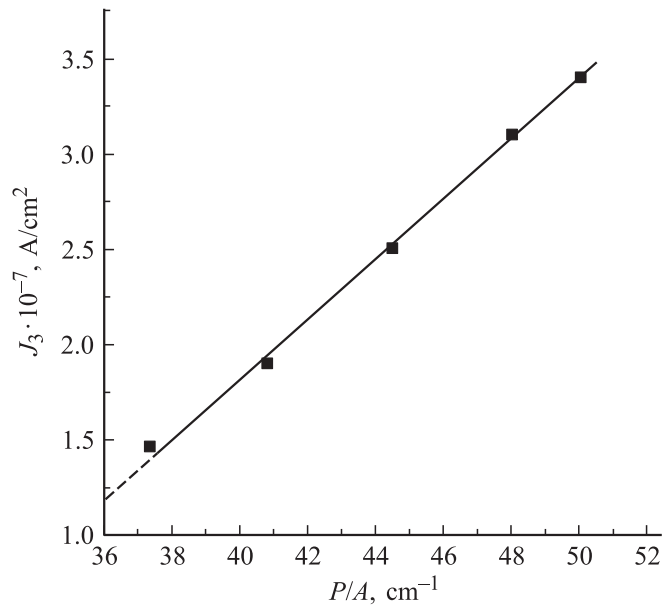


Рис. 3. Зависимость плотности темного тока от соотношения периметра диодов к их площади для планарных диодных структур, полученных методом пиролитического осаждения окисла.

Следует отметить, что, поскольку диффузия фосфора, проводимая в рамках моделирования технологического цикла изготовления мульти-скана, сопровождается геттерированием примесей с глубокими уровнями, этот процесс приводит к возрастанию диффузионной длины. Измеренная нами методом Лэкса диффузионная длина составила $100 \mu\text{m}$, что оказалось соизмеримым с диаметром сформированных диодов. По этой причине при построении для каждого вида окисла зависимости темного тока от площади диода, мы использовали „эффективные“ значения диаметра $D^* = D + 2L_d$, учтя тем самым реальную площадь, с которой происходит собиране неосновных носителей заряда.

На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости темного тока от площади диодов для планарных диодных структур с плазмо-химическим и термическими окислами, соответствующие линейному закону, откуда следует, что основной вклад в темновой ток при этих

Зависимость стабильности темнового тока диодов от метода формирования окисла

№	Метод формирования окисла	Отклонение величины темнового тока от первоначального значения в течение 30 min (ΔI_d),%
1	Термическое окисление в сухом кислороде	1
2	Термическое окисление во влажном кислороде	5
3	Пиролитическое осаждение окисла	30
4	Плазмохимическое окисление	3

методах окисления вносит объемная составляющая. Значения темнового тока, соответствующие поверхностной составляющей (при $A = 0$), равны: $I_1^0 = 6.5 \cdot 10^{-11}$ А, $I_4^0 = 1.45 \cdot 10^{-10}$ А, $I_2^0 = 2.15 \cdot 10^{-10}$ А.

В то же время такая же зависимость для планарных диодных структур с пиролитическим окислом, приведенная на рис. 2, далека от линейной, что позволяет предположить основной вклад в темновой ток поверхностной составляющей. Действительно, график, построенный для этих структур, согласно выражению (2), имеет линейный характер (рис. 3)

$$J_d = \frac{I_d}{A} = I_V + I_S \frac{P}{A}. \quad (2)$$

Эти результаты коррелируют с приведенными в таблице данными по стабильности темнового тока диодов, характеризуемой отклонением величины темнового тока от первоначального значения в течение 30 min. В диодных структурах, при изготовлении которых был применен метод формирования окисла с помощью пиролитического осаждения, основной вклад в темновой ток вносит поверхностная составляющая, и в то же время они демонстрируют минимальную стабильность темнового тока.

Таким образом, показано, что применение плазмохимического окисления при изготовлении модельных диодных структур позволяет совместить стабильность их темнового тока с преимуществами низкотемпературного окисления.

Список литературы

- [1] Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. // Измерительная техника. 2005. № 8. С. 31–34.
- [2] Akiyama T., Kageshima H. // Applied Surface Science. 2003. V. 216. P. 270–274.
- [3] Kageshima H., Shiraishi K., Uematsu M. // Jpn. J. Appl. Phys. 1999. V. 38. L971.
- [4] Сазонов А., Меутин М., Стряхилев Д., Nathan A. // ФТП. 2006. Т. 40. В. 8. С. 986–994.
- [5] Kuo Y. // Thin Film Transistors, Materials and Processes / Ed. by Y. Kuo. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. V. I. P. 241.
- [6] Rashid R., Flewitt A.J., Grambole D., Kreibig U., Robertson J., Milne W.I. // Advanced Materials and Devices for Large-Area Electronics / J.S. Im., J.H. Werner, S. Uchikoga, T. Felter, T. Voutsas, H.J. Kim (eds). Mater Res. Soc. Symp. Proc. Pittsburgh, PA. 2001. V. 695E. P. D13.1.1.
- [7] Kircher C.J. // J. Appl. Phys. Lett. 1975. V. 46. P. 2167–2173.