

ПЕРВИЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. Д. Лоскутова¹, А. П. Королев², В. Н. Чернышов¹

Кафедры: «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции» (1);
«Материалы и технология» (2), korolevanpal@yandex.ru;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия

Ключевые слова: диффузия; инфракрасное излучение; первичный измерительный преобразователь; полевая структура; термическое окисление кремния.

Аннотация: Полупроводниковая полевая структура для контроля инфракрасного излучения, представляющая первичный измерительный преобразователь, не подвергается традиционной технологии изготовления как типовые полупроводниковые приборы, такие как диоды, транзисторы, резисторы и др. Поэтому для полупроводникового преобразователя необходимо разработать индивидуальную технологию как для несерийного изделия. Дано описание основных операций технологического процесса производства полупроводникового первичного измерительного преобразователя для прибора контроля инфракрасного излучения.

При измерении и контроле инфракрасного излучения преобразователями на основе монокристаллических полупроводников выходная характеристика связана с термогенерацией основных носителей заряда в полупроводниковом терморезисторе. Термогенерация зависит от температуры, обусловленной инфракрасными лучами. Под затвором и диэлектриком в квантовой яме образуется заряд в виде электронов [1]. С увеличением концентрации электронов растет выходной ток преобразователя инфракрасного излучения в электрический сигнал [2].

Для контроля инфракрасного излучения спроектирован полупроводниковый первичный измерительный преобразователь (ПИП), который представляет собой полевую структуру [3]. Первичный измерительный преобразователь является резистором, управляемым изолированным металлическим электродом (рис. 1).

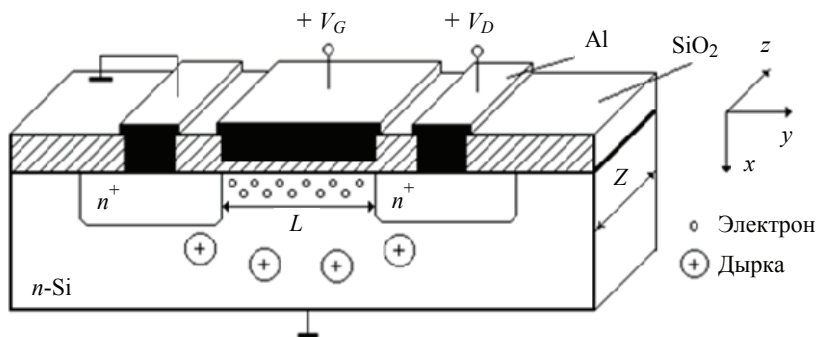


Рис. 1. Полупроводниковая полевая структура ПИП инфракрасного излучения

Потенциалом V_G на изолированном от кремниевой подложки алюминиевом электроде регулируется концентрация основных носителей заряда электронов и величина электропроводности в канале L . Величина V_D задает разность потенциалов на расстоянии L . Данные потенциалы влияют на выходную характеристику преобразователя при измерении величины инфракрасного излучения, что позволяет использовать ПИП для конкретных условий. На выходные электрофизические характеристики ПИП влияют и его структурно-топологические параметры: ширина Z (размер канала в направлении оси z) и длина канала L , толщина диэлектрика под изолированным алюминиевым электродом, концентрация примеси в подложке полевой структуры. Структурно-топологические величины определяются на этапе технологического проектирования ПИП. Технология изготовления преобразователя не является стандартным процессом получения полупроводниковых приборов, поэтому в статье представлена разработка операций формирования структуры полевого полупроводникового ПИП инфракрасного излучения. Основными разработанными и представленными в статье операциями технологии создания преобразователя являются диффузия повышенной концентрации n^+ донорной примеси в подконтактные области и выращивание тонкого диэлектрика под изолированным электродом с потенциалом V_G .

При формировании размеров подконтактных легированных карманов одновременно создаются длина L и ширина Z проводящего канала. Границы легированных областей должны совпадать с границами изолированного электрода, расположенного на тонком слое диэлектрика. Диффузия примеси, проходящая через окно оксида кремния, распространяется не только вертикально, но и в сторону под диэлектрик. Как известно из научной литературы боковая диффузия составляет 0,8 вертикальной диффузии. На рисунке 2 глубина перехода $x_{\text{пер}}$ – граница введенной вертикально примеси.

Для расчета глубины легирования воспользуемся выражением, описывающим распределение примеси по направлению x :

$$N(x, t) = N_{\text{пов}} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}, \quad (1)$$

где $N(x, t)$ – концентрация примеси, зависящая от расстояния от поверхности и времени; $N_{\text{пов}}$ – концентрация примеси на поверхности; erfc – функция ошибок; D – коэффициент диффузии:

$$D = D_0 e^{-\frac{E_a}{kT}},$$

где E_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана; T – температура по шкале Кельвина; $D_0 = 8 \text{ см}^2/\text{с}$ – коэффициент, не зависящий от температуры.

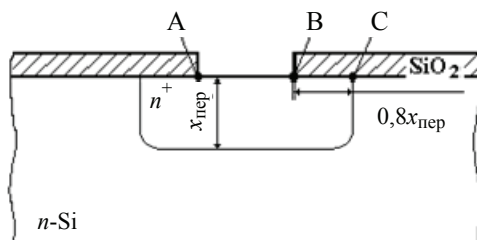


Рис. 2. Легированная область под контактом

Из формулы (1) находим требующуюся поверхностную концентрацию $N_{\text{пов}}$, с помощью которой можно получить глубину легирования x для известной концентрации в подконтактной области

$$N_{\text{пов}} = \frac{N}{\operatorname{erfc} \frac{x_{\text{пер}}}{2\sqrt{Dt}}}, \quad (2)$$

где t – время диффузии, мин.

Боковую глубину загонки введения $0,8x_{\text{пер}}$ можно определить оптическим способом, стравив оксид кремния SiO_2 (рис. 3).

При травлении оксида кремния травится и кремниевая подложка, открытая в окне диэлектрика. Как видно на рис. 3, расстояние BC и есть глубина легирования в сторону под диэлектрик. Легированная область будет отличаться цветом, поэтому это расстояние можно измерить с помощью микроскопа. Измерив расстояние BC, равное $0,8x_{\text{пер}}$, можно рассчитать $x_{\text{пер}}$. Измерив и рассчитав $x_{\text{пер}}$ и боковое подлегирование $0,8x_{\text{пер}}$, сопоставим их значения с рассчитанным для этого случая по формуле (2) значением поверхностной концентрации примеси при легировании. Эти навыки позволят проводить диффузию под контакты истока и стока, совмещая границы диффузионных областей с границами изолированного электрода затвора (рис. 4).

После легирования следует операция выращивания подзатворного диэлектрика при температуре 1473 К. При такой температуре идет разгонка введенной примеси. Поэтому легировать подконтактные области надо не до совмещения границ диффузионных областей с границами затвора. При выращивании тонкого подзатворного диэлектрика необходимо использовать столько времени, сколько требуется на разгонку примеси до совмещения границ. Распределение диффузанта при разгонке описывается выражением

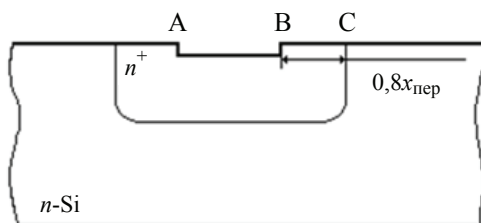


Рис. 3. Подложка с легированной областью после травления оксида кремния SiO_2

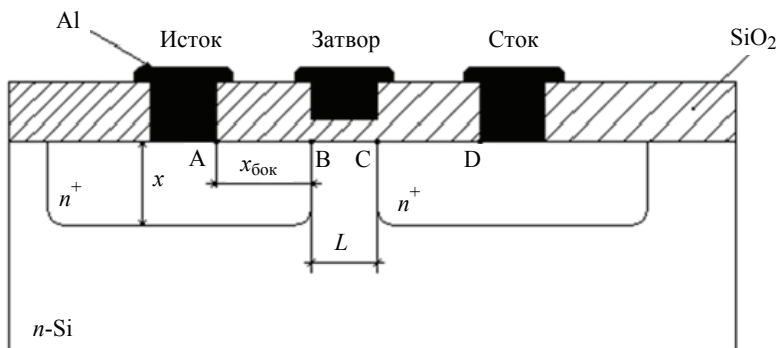
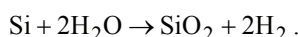
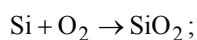


Рис. 4. Структура полевого ПИП инфракрасного излучения

$$N(x, t) = \frac{N_{\text{пов}}}{\sqrt{\pi D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}} \exp\left(-\frac{x^2}{4tD_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}\right).$$

Окисление под затвором проводилось при температуре 1473 К в открытой кварцевой трубе. Для выявления технологических параметров выращивания подзатворного диэлектрика проведены эксперименты. Получены экспериментально толщины оксида кремния и определены по цвету окисленных образцов. Длина волны цвета кратна толщине оксида. Результат эксперимента изображен на рис. 5, где отображена зависимость толщины оксида кремния от времени окисления.

Используя экспериментальные данные можно получить математическое выражение, описывающее зависимость роста толщины оксида кремния от времени при заданной температуре (указанной выше) 1473 К. При исследовании окисления поверхности кремниевой подложки необходимо определить этапы роста оксида: 1) адсорбция атомов кислорода поверхностью оксида кремния; 2) диффузия кислорода к границе раздела Si – SiO₂; 3) химическая реакция кислорода с кремнием и образование слоя SiO₂; 4) диффузия к поверхности газообразных продуктов реакции H₂ и десорбция с окисленной поверхности. В процессе окисления протекают химические реакции:



Скорость окисления определяется самой медленной стадией. Ей является диффузия кислорода через слой оксида кремния к границе раздела с кремниевой подложкой. Математическая формула имеет вид [4]

$$d^m = Kt, \quad (3)$$

где K – константа, определяемая давлением и температурой.

Если окисление проводится при давлении отличающемся не более чем на порядок, то $m = 2$ [4]. Необходимо определить математическую зависимость толщины оксида кремния от времени по экспериментальным данным. Упростим уравнение (3), обозначив d за y и K за a : $y = at$. Методом наименьших квадратов определили $a \approx 4,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мкм}^2}{\text{мин}}$. Математическая зависимость (3) будет иметь вид

$$d^2 = 4,4 \cdot 10^{-4} t \text{ или } d = 0,021\sqrt{t}. \quad (4)$$

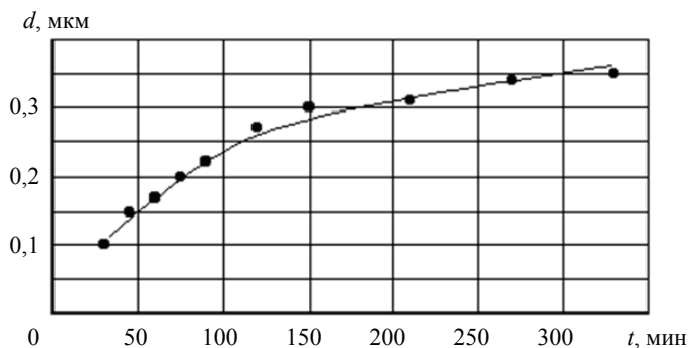


Рис. 5. Графики зависимости толщины окисленного слоя подложки от времени

На рисунке 5 изображены графики зависимости толщины окисленного при температуре 1473 К слоя подложки от времени. Нанесенные точки отражают полученные экспериментально значения, линия – результат расчета по полученной формуле (4). Из графиков видно, что экспериментальные и расчетные зависимости совпадают. Следовательно, полученная аналитическая зависимость (4) пригодна для расчета при заданной температуре 1473 К. Таким образом, исследованы и описаны принципы легирования подконтактных областей в подложке и технология выращивания подзатворного оксида кремния в полевой структуре.

Список литературы

1. Яцинин, Ю. В. Образование заряда в квантовой яме в полевой структуре / Ю. В. Яцинин, А. П. Королев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 525 – 528.
2. Брусенцов, Ю. А. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик / Ю. А. Брусенцов, А. П. Королев, А. В. Озаренко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12, № 1. – С. 122 – 128.
3. Лоскутова, А. Д. Цифровые преобразователи теплофизических характеристик в сельскохозяйственном производстве / А. Д. Лоскутова, И. Л. Королева // Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. «Цифровизация агропромышленного комплекса», 10 – 12 октября 2018 г., Тамбов. – Тамбов, 2018. – С. 89 – 92.
4. Аваев, Н. А. Основы микроэлектроники : учеб. пособие / Н. А. Аваев, Ю. Е. Наумов, В. Т. Фролкин. – М. : Радио и связь, 1991. – 287 с.

Non-Contact Infrared Sensor Primary Transmitter

A. D. Loskutova¹, A. P. Korolev², V. N. Chernyshov¹

*Departments of Criminal Law and Applied Informatics in Jurisprudence (1);
Materials and Technology (2), korolevanpal@yandex.ru;
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: diffusion; infrared radiation; primary measuring transducer; field structure; thermal oxidation of silicon.

Abstract: The semiconductor field structure for monitoring infrared radiation, which represents the primary measuring transducer, is not subjected to the traditional manufacturing technology as typical semiconductor devices, such as diodes, transistors, resistors, etc. Therefore, for a semiconductor converter it is necessary to develop an individual technology as for non-serial products. A description of the basic operations of the manufacturing process of a semiconductor primary measuring transducer for an infrared radiation monitoring device is given.

References

1. Yatsinin Yu.V., Korolev A.P. [Charge formation in a quantum well in a field structure], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 525-528. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Brusentsov Yu.A., Korolev A.P., Ozarenko A.V. [Research of electrophysical processes in field semiconductor structures for measuring thermophysical

characteristics], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2006, vol. 12, no. 1, pp. 122-128. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Loskutova A.D., Koroleva I.L. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tsifrovizatsiya agropromyshlennogo kompleksa»* [Materials of the I International scientific-practical conference “Digitalization of the agro-industrial complex”], 10 - 12 October, 2018, Tambov, 2018, pp. 89-92. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Avayev N.A., Naumov Yu.Ye., Frolkin V.T. *Osnovy mikroelektroniki: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of microelectronics: a training manual], Moscow: Radio i svyaz', 1991, 287 p. (In Russ.)

Primärer Messwandler der berührungslosen Steuerung der Infrarotstrahlung

Zusammenfassung: Die Halbleiterfeldstruktur zur Überwachung der Infrarotstrahlung, die den primären Messwandler darstellt, unterliegt nicht der traditionellen Herstellungstechnologie wie typische Halbleiterbauelemente, solche wie Dioden, Transistoren, Widerstände u.a. Daher ist es für einen Halbleiterwandler erforderlich, eine individuelle Technologie wie für ein nicht serielles Erzeugnis zu entwickeln. Es ist die Beschreibung der grundlegenden Operationen des Herstellungsprozesses des Halbleiter-Primärmesswandlers für eine Infrarotstrahlungsüberwachungsvorrichtung gegeben.

Transducteur primaire de mesure du contrôle sans contact du rayonnement infrarouge

Résumé: La structure de champ semi-conducteur pour le contrôle du rayonnement infrarouge qui représente le transformateur primaire de mesure n'est pas soumise à la technologie de la fabrication traditionnelle en tant qu'instrument type de conducteur tel que diodes, transistors, résistances, etc. C'est pourquoi il nécessite une technologie individuelle de la construction. Est donnée la description des principales opérations du procédé de la fabrication du transducteur primaire de mesure à semi-conducteurs pour l'appareil du contrôle du rayonnement infrarouge.

Авторы: *Лоскутова Анна Давидовна* – аспирант кафедры «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции»; *Королев Андрей Павлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; *Чернышов Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.