
SIMULATION OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF SEMI-CONDUCTOR NUCLEAR RADIATION DETECTORS

**R.A. Muminov,
A.K. Saymbetov,
J.K. Toshmurodov,
G.Zh. Ergashev,
M. Ya. Yavkochliev**

Physical-Technical Institute NPO "Physics-Sun" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan.

Kazakh National University named after Al-Farabi, Kazakhstan.

Karshi branch of the Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Karshi,
Uzbekistan

E-mail: yorqin@mail.ru

Аннотация: В этой работе рассмотрены результаты исследований процесса диффузии в кремниевые пластины большого размера, имеющие высокую концентрацию и неоднородное распределение примесей. Показаны особенности процесса диффузии под воздействием электрического поля на монокристаллический кремний во время проведения диффузии при изготовлении полупроводниковых детекторов.

Ключевые слова: полупроводниковый детектор, монокристаллический кремний, диффузия, дрейф, литий, чувствительная область.

Развитие полупроводникового приборостроения, микроэлектроники основано на введении необходимой концентрации в объем полупроводникового кристалла примесных атомов на заданную глубину. Широко распространенным методом введения примесного атома в объем кристалла основано на процессе диффузии (легирование), т.е. на поверхности полупроводникового кристалла необходимо создать «резервуар» легируемого примесного атома и в последующем провести диффузию при определенных высоких температурах [1]. Процессы диффузии очень распространены и играют огромную роль во многих важнейших технологических процессах получения и обработки полупроводников.

Особенности технологии диффузионного процесса атомов лития в кристаллы кремния больших размеров обусловлены нестабильностью некоторых параметров технологического процесса при диффузии. При этом изучались пути оптимизации режима охлаждения подложки для обеспечения необходимых радиометрических и электрофизических характеристик получаемого полупроводникового детектора (ППД). Это в свою очередь требует изменения режимов технологии относительно традиционной, свойственной для ППД небольших размеров. Поэтому для точной воспроизводимости глубины диффузии были использованы разные способы, в том числе сбрасывание пластины сразу же после диффузии на охлаждаемый проточной водой постамент. Это обеспечивало воспроизводимость режима быстрого охлаждения и следовательно, плоскопараллельность глубины диффузии по всей площади кристалла большого размера [1-2].

Исходя из вышесказанного нами, были разработаны рекомендации по выбору оптимальных свойств исходного материала, с целью совершенствования технологических режимов, изготовления кремниевых детекторов ядерного излучения больших размеров. Особенностью данных исследований

является то, что в настоящее время размеры существующих ППД имеют диаметр чувствительной поверхности $50 \div 110$ мм и толщину $W < 1,5 \div 2$ мм [1]. Для получения ППД больших размеров были оптимизированы технологические условия и режимы процесса температурной диффузии с учетом концентрации кислорода в исходном кристалле (рис. 1). Нанесение диффузанта термическим испарением, в отличие от традиционных, проводили на заранее разогретых до установленной температуры пластинах кремния. Процесс предварительного разогрева пластины кремния до установленной температуры, определялся условиями минимизации возникновения комплексов LiO_x . Процесс диффузии проводили в вакуумной камере, при давлении 10^{-5} тор в течение $t = 150$ мин. при температуре 500 °С.

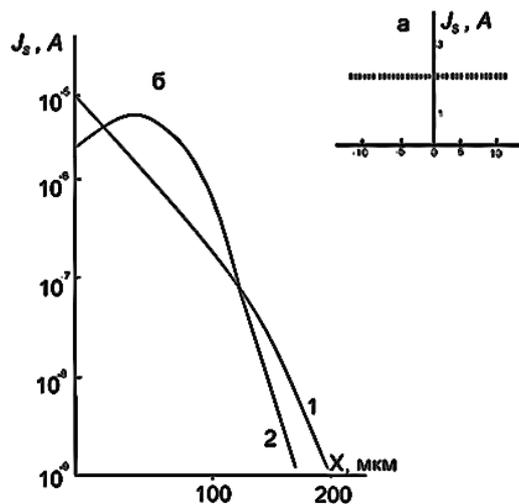


Рис. 1. Распределение тока растекания в диффузионной области Si(Li)-*p-i-n*-структур: а) вдоль диаметра кристалла; б) по глубине; 1-теоретически рассчитанная кривая; 2-экспериментальная

Температура диффузии выбиралась в зависимости от сопротивления исходного материала при условии, что концентрация лития в приповерхностной части кристалла должна быть много больше концентрации исходных акцепторов в кремнии N_A , т.е. $N_{Li} \gg N_A$ (не менее двух порядков) (рис. 1).

Для получения значительной приповерхностной концентрации лития необходима определенная высокая температура. На рис. 2, а представлены диффузионные профили в образцах кремния, полученных методами бестигельной зонной плавки. На рис. 2, б показана схема установка для проведения диффузии под воздействием поля.

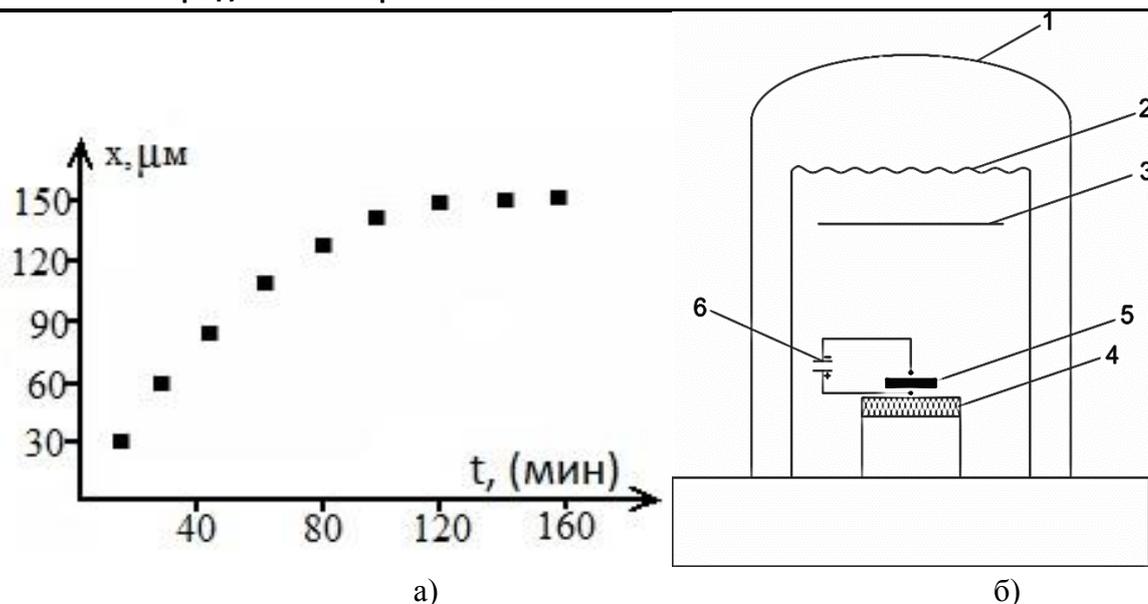


Рис. 2. а) Диффузионный профиль лития в кремнии, выращенного по методу Чохральского, при температуре 500 °С, в течение $t=150$ мин. б) Схема установка для проведения диффузии под воздействием поля. 1. вакуумный объем, 2. испаритель, 3. заслонка, 4. нагревательный элемент, 5. образец, 6. питания.

Учитывая большую скорость диффузии ионов лития, очень трудно обеспечить воспроизводимость результатов при проведении процессов диффузии при высоких температурах. Поэтому режим диффузии подбирается для каждого типа ППД. Однако следует помнить, что при нагревании высокоомного кремния до температуры выше 600 °С, время жизни носителей уменьшается. Для того чтобы оценить влияние уменьшения времени жизни на электрические и спектрометрические характеристики детектора больших размеров. – скорее всего нужно дополнить

В процессе диффузии в полупроводниковый материал при одновременном воздействии электрического поля и при условии если диффундирующая примесь ионизована, то электрическое поле способствует усилению диффузионного потока, тогда

$$D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - \vartheta \frac{\partial N}{\partial x} = \frac{\partial N}{\partial t} \quad (1)$$

где ϑ - скорость, сообщаемая диффундирующему иону полем (1).

Уравнение (1) применимо для случая перемещающейся границы и его решения могут быть использованы при соответствующем выборе граничных условий. При воздействии поля, приняв

$$\vartheta = \mu E \quad (2)$$

где μ – подвижность; E – напряженность поля.

$$\frac{D}{\mu} = \frac{xT}{qz} \quad (3)$$

где k - постоянная Больцмана; q - электронный заряд; qz - заряд иона.

Отсюда величина ν в уравнениях – необходимо уточнить

$$D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} = \frac{\partial N}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial N}{\partial x} \quad (4)$$

$$D \frac{\partial^2 N}{\partial x'^2} + \frac{\partial N}{\partial x'} = \frac{\partial N}{\partial t} \quad (5)$$

Использован р-тип кремния с удельным сопротивлением $\rho=5$ кОм, время жизни носителей заряда $\tau \geq 300$ мкс, концентрация кислорода $N(O_2) \approx 10^{16}$ см³, диаметр пластины ≈ 100 мм и толщина 4 мм. Диффузия проводилась в вакууме (10^{-6} Торр) при температуре 500 °С на глубину 120-150 мкм в

течение 150 мин. В качестве диффундирующего материала использовался литий [4]. Литий диффундирует очень быстро и приложение поля может привести к быстрому их перераспределению в отличие от других элементов [5].

Таким образом, представлены результаты исследований, в которых продемонстрировано влияние электрического поля на кремний с известной концентрацией кислорода в процессе изготовления детекторов на кристаллах больших размеров. Следует также отметить, что при термическом напылении поверхностного слоя и диффузии требуется заранее разогрев пластины кремния до определенной температуры.

Список литературы:

1. А.К. Саймбетов, Ё.К. Тошмуродов // Особенности процессов диффузии и дрейфа ионов лития в монокристаллическом кремнии с различным содержанием кислорода // Новые технологии – 2012. № 1 (35). Стр. 31-34.
2. Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний - литиевые детекторы ядерного излучения. –Ташкент: Фан. 1981. стр.- 257с.
3. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Тошмуродов Ё.К., Раджапов Б.С. Особенности технологии формирования Si(Li) p-i-n –детекторов ядерного излучения больших размеров // Computational nanotechnology – 2016. № 1. Стр. 62-66.
4. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В, Калинин А.И, Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. -271 с.
5. Акимов Ю.К. Кремниевые детекторы излучения. // ПТЭ. –Москва, 2007. - №1. - С. 5-34.