

УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ



УДК 621.315.592

В.В.Гаврушко, А.С.Ионов, В.А.Ласткин, Д.А.Стафеев, В.Н.Швецов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ДИФфуЗИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ ДОНОРАМИ

Институт электронных и информационных систем НовГУ

Profiles of silicon doping by arsenic after ion implantation are studied. In order to calculate coefficient of impurity diffusion the Boltzman-Matan method has been used. Correctness of method application for superficially lying layers of silicon has been verified via analysis of diffused phosphorus layers. Coefficients of arsenic diffusion are defined. It has been carried out that depth of layer with the increased value of diffusion coefficient of arsenic in the near-surface region, connected with the radiationally speeded up diffusion, exceeds the projected run size by a factor of three.

Интересным способом получения мелкозалегающих легированных слоев в кремнии является метод ионной имплантации. При использовании последующего термического отжига итоговый профиль легирования примесью в основном определяется процессами диффузии. При этом традиционные методы расчета не могут быть использованы из-за сильного влияния радиационных дефектов на эти процессы. Дело осложняется тем, что при отжиге происходит как изменение концентрации, так и перемещение самих дефектов. В связи с этим наиболее достоверные сведения о процессах легирования могут быть получены экспериментальным путем. В работе описывается метод определения коэффициентов диффузии примесей, приводятся результаты исследования профилей легирования кремния после диффузии фосфора и после отжига ионно-имплантированных слоев мышьяка.

Исследованы слои, полученные внедрением мышьяка в кремний марки КДБ-10 с энергией 50 кЭв и дозой 50 мкКл/см². Термический отжиг производился при температуре 1050°C в течение 40 мин. Таким образом, в подложке формировался электронно-дырочный переход хорошего качества. На полученных структурах создавались омические контакты и производились измерения слоевой проводимости легированной области по методу Ван-дер-Пау при последовательном утончении слоя. Размеры тестовых структур составляли 2×2 мм². Данные по изменению проводимости легированного слоя приведены на рис.1.

Для определения концентрации электрически активных примесей рассчитывалась удельная электропроводность $\sigma(x)$:

$$\sigma(x) = \sigma_s(x) \cdot \frac{1}{\lg e} \cdot \frac{d \lg \sigma_s(x)}{dx},$$

где $\sigma_s(x)$ — поверхностная проводимость.

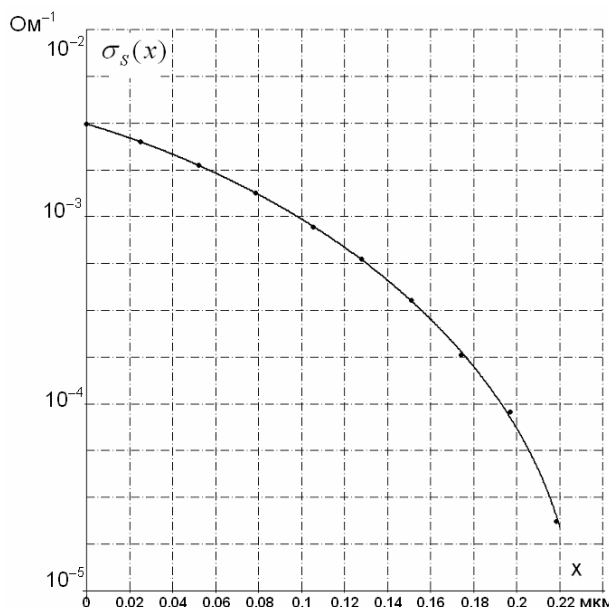


Рис.1. Изменение проводимости легированного слоя при уменьшении его толщины после ионной имплантации мышьяка и отжига

Используя связь между электропроводностью и концентрацией доноров [1], был построен профиль легирования ионно-диффузионного слоя (рис.2). Анализ полученной кривой позволяет различить три характерных участка. Первый, практически горизонтальный участок до глубины 0,06 мкм, можно связать с исходным распределением примеси, полученным в результате торможения ионов мышьяка. Это согласуется с расчетным значением проецированного пробега (положение максимума в профиле торможения составляет 0,034 мкм). Второй, сравнительно пологий участок до глубины 0,15 мкм, может характеризоваться процессом быстрой диффузии. На третьем участке, с крутым изменением характеристики, диффузия происходила с самой низкой скоростью. Таким

образом, форма кривой концентрационного распределения примеси может свидетельствовать о непостоянстве коэффициента диффузии мышьяка при отжиге ионно-легированного слоя.

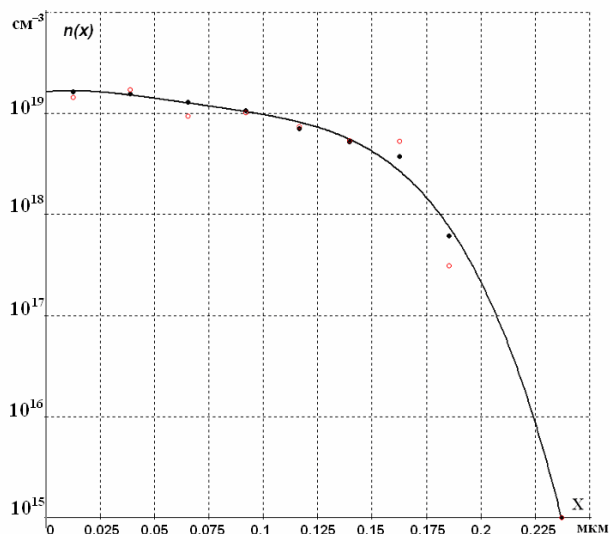


Рис.2. Профиль распределения мышьяка после ионной имплантации и отжига

Для расчета коэффициента диффузии нами был использован метод Больцмана—Матана [2], согласно которому его величина может быть рассчитана на отдельных участках профиля в соответствии с выражением

$$D(n) = -\frac{1}{2\tau} \cdot \frac{dx}{dn} \int_0^n x dn.$$

где τ — время диффузии.

С целью проверки применимости этого метода для расчета диффузионных процессов в кремнии мы использовали его для анализа профиля легирования диффузионного p - n перехода. Для этого была проведена диффузия фосфора методом открытой трубы в аналогичный исходный материал (КДБ-10) при температуре, соответствующей режиму отжига (1050°C), в течение 20 мин. Фосфор был выбран из-за более высокого коэффициента диффузии по сравнению с мышьяком, что при невысоких температурах процесса и большей глубине залегания p - n перехода упрощало процедуру эксперимента и повышало точность измерений. Данные об изменении проводимости легированного слоя при уменьшении его толщины приведены на рис.3, а профиль распределения примеси — на рис.4. Изменение величины коэффициента диффузии с глубиной, рассчитанное по методу Больцмана—Матана приведено на рис.5. Как видно, хорошо выявляются два качественно различных участка. Первый (до глубины 0,5 мкм) имел высокие значения коэффициента диффузии, что можно связать с наличием концентрационной зависимости последнего, которая проявляется для фосфора при значениях $N > 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [2]. Второй участок, при глубине свыше 0,6 мкм, имел постоянное значение коэффициента диффузии: $D = 1,7 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$. Сравнение этой величины с известными данными дает удовлетворительное согласие ($D = 1 \cdot 10^{-13} \div 4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$ [3,4]), что может свидетельствовать об адекватности используемой методики. Применение метода Больцмана—Матана в случае диффузии мышьяка из имплантированного слоя является не со-

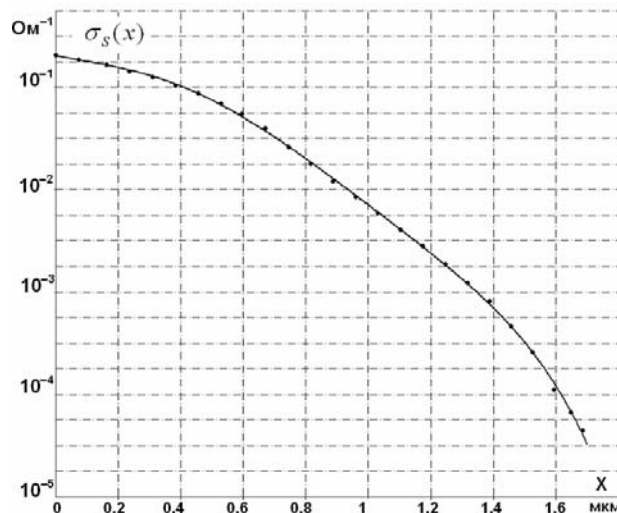


Рис.3. Изменение проводимости легированного слоя при уменьшении его толщины после диффузии фосфора

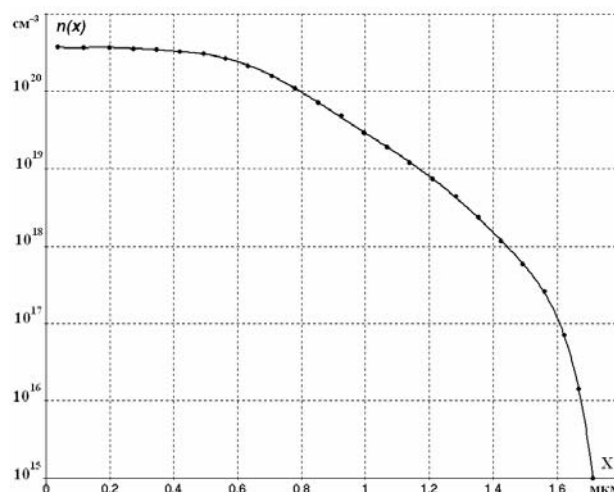


Рис.4. Профиль распределения фосфора после диффузии

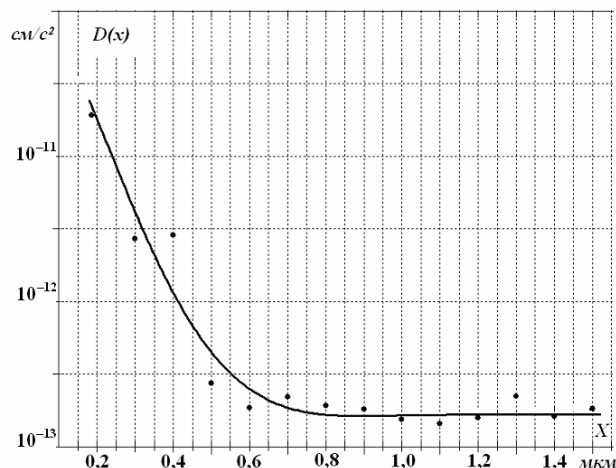


Рис.5. Зависимость коэффициента диффузии фосфора от глубины залегания примеси

всем корректным, поскольку он разработан для условий диффузии из неограниченного источника. Однако мы использовали этот метод для анализа исходя из следующей модели процесса. Пусть в среде имеется ступенчатое распределение коэффициента диффузии, причем поверхностная область характеризуется большой

скоростью диффузионных процессов. Тогда на границе с областью, где диффузия происходит медленно, может поддерживаться практически постоянная концентрация примесного компонента из-за высокой скорости его доставки. Кроме того, количество диффузанта в приповерхностной области во много раз превышает его содержание в области медленной диффузии. Это дает основание применить для оценки значений концентрационной зависимости коэффициента диффузии упомянутый метод.

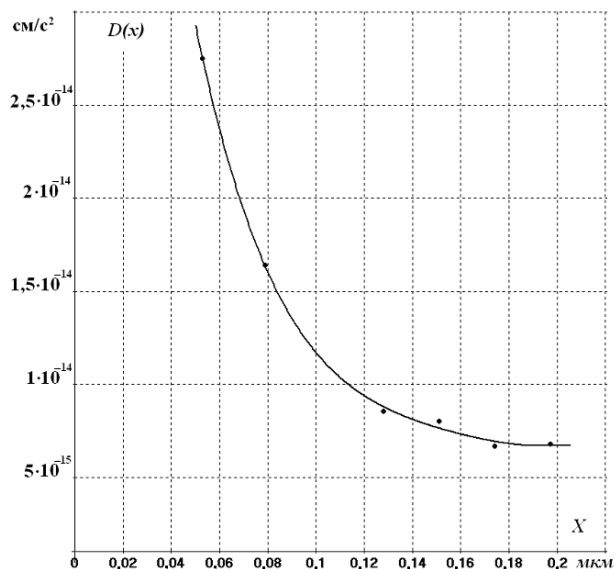


Рис.6. Зависимость коэффициента диффузии мышьяка от глубины залегания примеси после отжига ($T = 1050^{\circ}\text{C}$, $t = 40$ мин)

Зависимость полученного таким образом коэффициента диффузии мышьяка от глубины приведена на рис.6. Анализ проводился для глубин, превышающих величину проецированного пробега. Как следует из полученных данных, коэффициент диффузии имел большие значения у поверхности и, уменьшаясь вглубь пластины, выходил на постоянное значение $D = 6,8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2/\text{с}$. Сравнение этой величины с ранее опубликованными данными [4] показывает хорошее согласие результатов ($D = 6,3 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2/\text{с}$), что можно считать подтверждением справедливости принятых допущений.

Следует отметить, что установленная нами глубина слоя с повышенным значением коэффициента диффузии мышьяка в приповерхностной области, связанная с радиационно-ускоренной диффузией, по крайней мере в три раза превышает величину проецированного пробега. Таким образом, при получении мелких легированных слоев (с глубиной порядка 100 нм) путем внедрения ионов мышьяка необходимо учитывать сильное влияние радиационно-ускоренной диффузии.

1. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. И.К.Кикоина. М., Атомиздат, 1976. 1006 с.
2. Шоу Д. Атомная диффузия в полупроводниках. М.: Мир, 1975. 675 с.
3. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы. Материалы, приборы, изготовление. М.: Мир, 1985. 504 с.
4. Мазель Е.З., Пресс Ф.П. Планарная технология кремниевых приборов. М.: Энергия, 1974. 384 с.