

УДК 539.231
DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-92-96

Влияние способов легирования на свойства элементов с аномально фотовольтаическими эффектами

Р. А. Нурдинова, А. Ш. Алимжонова

*Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий
Фергана, Узбекистан*

Аннотация

В данной работе приведены общие исследования влияния способов легирования на свойства элементов с аномальными фотовольтаическими эффектами, также исследован процесс легирования полукристаллических тонких пленок CdTe с изовалентными примесями. Изучен процесс термической диффузии.

Ключевые слова

полупроводниковые элементы, изовалентные примеси, легирование, термическая диффузия, электрет, магнитные свойства, фотовольтаический эффект

Для цитирования

Нурдинова Р. А., Алимжанова А. Ш. Влияние способов легирования на свойства элементов с аномально фотовольтаическими эффектами // Сибирский физический журнал. 2020. Т. 15, № 2. С. 92–96. DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-92-96

Influence of Methods of Alloying on the Properties of Elements with Anomalous Photovoltaic Effects

R. A. Nurdinova, A. Sh. Alimjonova

*Fergana branch of Tashkent University of Information Technologies
Fergana, Uzbekistan*

Annotation

This work presents general studies of the influence of doping methods on the properties of elements with anomalous photovoltaic effects and the process of doping of semi-crystalline thin CdTe films with isovalent impurities is also investigated. The process of thermal diffusion has been studied.

Keywords

semiconductor elements, isovalent impurities, doping, thermal diffusion, electret, magnetic properties, photovoltaic effect

For citation

Nurdinova R. A., Alimjonova A. Sh. Influence of Methods of Alloying on the Properties of Elements with Anomalous Photovoltaic Effects. *Siberian Journal of Physics*, 2020, vol. 15, no. 2, p. 92–96. (in Russ.) DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-92-96

Известно, что легирование тонких пленок с изовалентными примесями играет важную роль для создания аномального фотовольтаического эффекта [1]. Существуют различные методы легирования тонких пленок: термическая диффузия из газовой и из жидкой фазы, двухсторонняя диффузия, диффузия по межкристаллитным прослойкам, введение примесей ионно-лучевой диффузией (так называемой имплантацией) и т. п. В работе [2] исследован

© Р. А. Нурдинова, А. Ш. Алимжонова, 2020

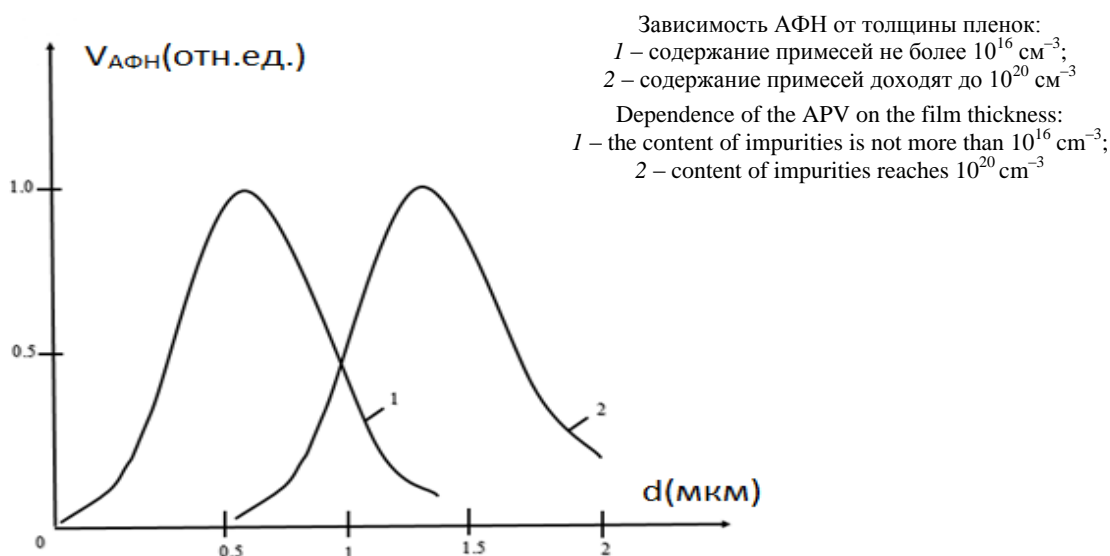
процесс легирования полукристаллических тонких пленок CdTe с примесью Ag для получения фотоэлектретов. Работа [3] посвящена исследованию влияния имплантации бора и серебра на аномально фотовольтаических свойствах пленок CdTe. Анализ показывает, что в настоящее время для легирования АФН-элементов наиболее подходящим методом является метод ионно-лучевой диффузии. Возможности такого метода особенно широки потому, что многие фотоэлектрические свойства полупроводниковых тонких пленок чувствительны к микропримесям. Магнитные свойства и вышеуказанные процессы очень сильно зависят от присутствия инородных атомов [2]. Метод ионного внедрения позволяет вводить в пленку ионы различных элементов и получать требуемые величины и заданные характеристики; во многих случаях такие стабильные характеристики и свойства просто невозможно получить иными методами. В последнее время основное внимание сосредоточено на изучении легированных полупроводниковых тонких пленок с аномально фотовольтаическими (АФВ) свойствами [4]. Основным недостатком термической диффузии как средства введения примесей в полупроводниковую пленку, является высокая температура обработки, которая может приводить к загрязнению перемещению дефектов в пленке или уменьшению времени жизни неравновесных носителей. Термическая диффузия создает большую концентрацию дефектов кристаллической решетки при поверхностной области пленки.

Как известно, аномальное фотовольтаическое напряжение возникает при нарушении электронно-дырочного перехода. Из результатов исследовательской работы [5], принципиально иного механизма фотоэлектрического разделения зарядов, который действует на расстоянии 1–2 нм и производит напряжения, значительно превышающее ширину запрещенной зоны. Разделение происходит на ранее не наблюдаемых наноразмерных ступенях электростатического потенциала, которые естественным образом возникают на сегнетоэлектрических доменных стенках. Скопление таких дефектов и различных примесей в области межкристаллических барьеров приводит к существенному изменению фотоэлектрических свойств элементов аномального фотонапряжения (АФН). Кроме того, высокая поверхностная концентрация примеси при термической диффузии, т. е. большое количество атомов примесного элемента, находящихся на активной поверхности пленки, способствует образованию невыпрямляющих контактов, так как при этом пленка в зоне контактной области обладает почти металлическими свойствами. По-видимому, это обстоятельство ограничивает «эффективную длину» тонкопленочных АФН-элементов. Вместе с тем необходимо учитывать, что очень высокие температуры неблагоприятно сказываются на подвижности и времени жизни носителей.

Опытным путем нами было доказано [6; 7], что легирование АФН-элементов возможно за счет ионно-лучевой диффузией (имплантация), которая позволяет осуществлять непосредственное внедрение атомов легирующего вещества в кристаллическую решетку в процессе роста пленки. Электрическое поле, действующее на ионизованные примеси в направлении подложки, обеспечивает необходимую энергию для диффузии. Когда атомы примеси попадают в пленку, они внедряются между узлами кристаллической решетки. Энергия частиц в ионном луче составляет примерно 100 эВ. Чем ниже энергия частиц, тем меньше опасность радиационного повреждения фотовольтаических элементов. При использовании луча с частицами малых энергий используется каналный эффект, который состоит в том, что, двигаясь в определенном направлении, ионы в состоянии перемещаться между атомами или перемещаются в вакансии в узлах решетки. Внедрение ионов примеси можно проводить в точно определенную область пленки, не подвергая другие области заметному воздействию. Это является главным преимуществом ионно-лучевой диффузии перед термической. Контроль концентрации примесей при ионно-лучевой диффузии осуществляется не химическими, а электронными средствами, что позволяет получить более стабильные элементы с аномальными фотовольтаическими свойствами. Можно использовать почти любое легирующее вещество. Однако необходимо отметить, что при использовании в качестве легирующей примеси изовалентных атомов (например, S, Se) наблюдалось улучшение стабильности па-

раметров элемента аномально фотовольтаического напряжения. Ионно-лучевая диффузия легирования АФН-элементов дает возможность получать очень малую толщину базы. Размеры области изменения концентрации примесей в глубину составляют десятки доли микрона, в таких случаях имплантация не оказывает заметного влияния на фотоактивность микробарьеров, расположенных в глубоких слоях пленки. Таким образом, с помощью метода (имплантации) ионно-лучевой диффузии изовалентных атомов можно выявить глубокие энергетические уровни, расположенные в межкристалльных барьерах при поверхностной области или в объеме пленки, которая ответственна за формирование аномально высокого фотонапряжения в АФН-элементах сложных многокомпонентных соединений. При слаболегированном полупроводнике взаимодействием примесей можно пренебречь. При сильном легировании возможны и обычные виды взаимодействия примесей с атомами основного вещества и со структурными дефектами. Полученные результаты убедительно показывают, что при высокой концентрации примеси в кристалле не вся она входит в твердый раствор замещения. Часть примеси находится в состояниях, где она не проявляет донорных (или акцепторных) свойств. Таким образом, при большом уровне легирования легирующая примесь существует в кристалле одновременно в нескольких формах. Такие многоформы называют политропией примеси [8]. Политропия примесей в легированных полупроводниковых пленках может быть связана с различными факторами: образованием структурных комплексов в неупорядоченных областях; осаждением легирующей примеси на различных структурных дефектах, образованием специфических примесных субструктур типа ячеистой структуры [9], присутствием атомов примеси между узлов и т. д.

Из экспериментальных результатов следует, что АФН-пленки образуются только при анизотропном напылении независимо от наличия или отсутствия градиента толщины, который является одним из условий возникновения АФН, так как в определенной области толщины возникает аномальное фотовольтаическое напряжение, а за пределами этой величины оно понижается или совсем исчезает. При более высоких концентрациях, $n > 1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, ячеистая субструктура полностью переходит к поликристаллической структуре. Переход к поликристалличности происходит через многократное удваивание, которое начинается уже в образцах с концентрацией (дырок) примесей, равной примерно $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Во всех образцах явно выраженной поликристаллической структуры наблюдается увеличение плотности дислокаций. В бездислокационных поликристаллических пленках $n > 10^{20} \text{ см}^{-3}$ примесей наблюдаются очень четкие периодические неоднородности распределения примеси (см. рисунок).



Уменьшение периодических неоднородностей приведет к ослаблению фотовольтаической активности микрофотоэлементов в АФН-структурах.

Концентрация такого порядка в практических случаях может достигаться лишь при крайне неоднородном легировании АФН-элементов.

Результаты экспериментальных исследований позволяет сделать определенный вывод о существовании тесной связи между образованием АФН с особенностями периодического распределения примесей в объеме АФН-элементов по полосам роста пленки. Политропия примесей, сегрегация примесей по границам микрокристалликов в значительной мере способствует проявлению АФН в микрообластях АФН-элементов.

Список литературы

1. **Касимахунова А. М., Найманбаев Р., Мамадалиева Л. К., Нурдинова Р. А., Олимов Ш. А.** Исследования некоторых явлений в АФН-структурах с изовалентными примесями для разработки приборов и устройств для неразрушающего контроля и измерения // *Computational nanotechnology*. 2018. № 2. С. 72–75.
2. **Атакулов Б. А., Абдуллаев Э. А., Эргашев Ж. Э., Каримов М. А., Юлдашев Н. Х.** Технология получения фотоэлектретов «Без внешнего поля» на основе АФН пленок CdTe:Ag и исследование их фото- и тензoeлектрических свойств // *Материалы III Все-союз. науч.-техн. семинара-совещания «Перспективы развития и практическое применение методов тензометрии при исследовании прочности конструкции»*. Фергана, 1983. С. 212–246.
3. **Матбабаева Ш. М. и др.** Фотопроводимость пленок из CdTe:V:Ag с аномальным фотовольтаическим свойством // *ФерПИ, НТЖ*. 2002. № 4. С. 7.
4. **Мирзаева З. И., Набиев Г. А., Эргашов К. М.** Фотоэлектретное состояние без внешнего поляризующего поля в однородных полупроводниках // *ФИП*. 2008. Т. 6, № 1-2. С. 65–69.
5. **Seidel Yang J., Byrnes S. J., Shafer P., Yang C.-H., Rossell M. D., Yu P., Chu Y.-H.** Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. Articles published online: 10 January 2010. DOI 10.1038/nnano.2009
6. **Kasimakhunova A., Naymanbayev R., Mamadalieva L., Nurdinova R. A., Olimov Sh.** Research of AHV-effect in films and crystals with the effect of the double luxurification. *Computational nanotechnology*, 2018, no. 3, p. 44–48.
7. **Касимахунова А. М., Нурдинова Р. А.** АФН-элементы с двойным лучепре-ломлением. *Uzbek Journal of Physics*, 2017, vol. 19 (5), p. 302–306.
8. **Случинская И. А.** Основы материаловедения и технологии полупроводников. М., 2002.
9. **Mesa F., Gordillo G., Dittrich T., Ellmer K., Baier R., Sadewasser S.** Transient surface photovoltage of p-type Cu₃BiS₃. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, vol. 96, p. 082113.

References

1. **Kasimahunova A. M., Najmanbaev R., Mamadalieva L. K., Nurdinova R. A., Olimov Sh. A.** Investigations of some phenomena in APV-structures with isovalent impurities for the development of instruments and devices for non-destructive testing and measurement. *Computational nanotechnology*, 2018. no. 2, p. 72–75. (in Russ.)
2. **Atakulov B. A., Abdullaev E. A., Ergashev Zh. E., Karimov M. A., Yuldashev N. H.** Technology of obtaining photoelectrets “Without external field” based on APV films CdTe: Ag and the study of their photo- and tenzoelectric properties. In: *Materials III All-Union. scientific and*

- technical seminar-meeting “Prospects for development and practical application of tensometric methods in the study of structural strength”]. Fergana, 1983, p. 212–246. (in Russ.)
3. **Matbabaeva Sh. M. et al.** Photoconductivity of films made of CdTe: B: Ar with anomalous photovoltaic property. *FerPI*, 2002. no. 4. p. 7. (in Russ.)
 4. **Mirzaeva Z. I., Nabiev G. A., Ergashov K. M.** Photoelectric state without an external polarizing field in homogeneous semiconductors. *FIP*, 2008, vol. 6, no. 1–2, p. 65–69. (in Russ.)
 5. **Seidel Yang J., Byrnes S. J., Shafer P., Yang C.-H., Rossell M. D., Yu P., Chu Y.-H.** Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. Articles published online: 10 January 2010. DOI 10.1038/nano.2009
 6. **Kasimakhunova A., Naymanbayev R., Mamadalieva L., Nurdinova R. A., Olimov Sh.** Research of AHV-effect in films and crystals with the effect of the double luxurification. *Computational nanotechnology*, 2018, no. 3, p. 44–48.
 7. **Kasimakhunova A. M., Nurdinova R. A.** APV-elements with birefringence. *Uzbek Journal of Physics*, 2017, vol. 19 (5), p. 302–306. (in Russ.)
 8. **Sluchinskaya I. A.** Foundations of materials science and technology of semiconductors. Moscow, 2002. (in Russ.)
 9. **Mesa F., Gordillo G., Dittrich T., Ellmer K., Baier R., Sadewasser S.** Transient surface photovoltage of p-type Cu₃BiS₃. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, vol. 96, p. 082113.

Материал поступил в редколлегию

Received
20.05.2020

Сведения об авторах / Information about the Authors

Нурдинова Разияхон Абдихаликовна, доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий (Фергана, Узбекистан)

Raziyakhon A. Nurdinova, Doctor of Philosophy in Engineering Sciences (PhD), Associate Professor, Fergana branch of Tashkent University of Information Technologies (Fergana, Uzbekistan)

nurdinovar2016@mail.ru

Алимжонова Арофатхон Шавкат кизи, студент, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий (Фергана, Узбекистан)

Arofatkhon Sh. Alimjonova, Student, Fergana branch of Tashkent University of Information Technologies (Fergana, Uzbekistan)

f.success2898@gmail.com