

УДК 535.247.4: 535.243

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ ГЕРМАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ
АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ФОТОЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ****Черников Н. Г., Черникова И. Д.****INVESTIGATION OF GERMANY ADSORPTION TO THE SURFACE
OF ARSENIDE OF GALLIUM BY PHOTOEMISSION METHOD****Chernskov N. G., Chernikova I. D.**

В статье рассмотрено влияние адсорбированных слоёв германия на поверхности монокристаллов арсенида галлия различного типа проводимости фотоэмиссионным методом в сверхвысоком вакууме. Изучены вопросы влияния адсорбированных слоев на электронную структуру подложки, а так же каким образом влияют атомы германия на изменение работы выхода фотоэлектронов из монокристаллов арсенида галлия.

Ключевые слова: *полупроводник, поверхность твёрдого тела, фотон, энергия фотонов, адсорбция, подложка, квантовый выход, распределение фотоэлектронов по энергиям, вакуум.*

Введение. Арсенид галлия и его поверхностные свойства привлекают большое внимание исследователей в связи с возможностями его широкого применения в технике микро- и нанoeлектроники.

Несмотря на многочисленные исследования поверхности полупроводников, многие вопросы, касающиеся ее свойств и процессов на границе двух фаз, ещё недостаточно выяснены, особенно это касается влияния условий на поверхности на энергетический спектр электронов в кристаллах.

Постановка проблемы. Интерес к этим вопросам непрерывно возрастает не только с научной точки зрения, но и с практической – в связи с развитием полупроводниковой микро- и нанoeлектроники. Развитие таких её разделов, как тонкослойная нанoeлектроника и оптоэлектроника, устройства с МДП структурами и зарядовой связью, холодных катодов и эффективных фотокаатодов и др. требуют понимания процессов в приповерхностном слое полупроводника как присвободной поверхности, так и при адсорбции на её поверхность других веществ. Это важно так же для выяснения возможности желаемым образом изменять поверхностные и приповерхностные свойства твёрдых тел.

Из сказанного следует, что адсорбция чужеродных атомов на поверхность монокристаллов GaAs оказывает существенное влияние на фотоэмиссию. Однако ещё недостаточно изучено: влияние покрытий на свойства поверхностного слоя арсенида галлия, на структуру энергетического спектра электронов, не выяснено в какой мере разные покрытия влияют на загиб зон и электронное сродство к электрону, что существенно для выяснения способа уменьшения работы выхода фотоэлектронов. Выбор таких покрытий обусловлен тем, что различные вещества (металлы, диэлектрики, полупроводники) значительно отличаются по своим физико-химическим свойствам, и поэтому наличие их на поверхности твердого тела должно оказывать различное влияние как на свойства поверхности полупроводников, так и на структуру зон в приповерхностной области.

Анализ последних исследований и публикаций. Изменяя условия на поверхности, например, нанося чужеродные атомы, можно воздействовать на свойства приповерхностного слоя. Исследования показывают, что адсорбция вещества на подложку твердого тела приводит к различным изменениям характеристик поверхности твердого тела, таких как работа выхода [1,2], подвижность носителей тока в приповерхностном слое [3], фотоэмиссионные свойства [4-6] и др. Эти изменения происходят как вследствие возникновения электрического слоя поля в слое приповерхностного объёмного заряда, так и изменения электронной структуры твёрдого тела вблизи поверхности.

Изучение поверхности твердых тел и ее влияния на физические свойства последних проводятся различными методами: оптическими, дифракцией медленных электронов, эффекта поля, исследования контактной разности потенциалов, методами электронной спектроскопии, а также

методом фотоэмиссии. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки [7]. Однако преимущество метода фотоэмиссии заключается в том, что он позволяет получать большую информацию об энергетическом спектре электронов в полупроводниках и, таким образом, даёт возможность проследить за изменениями этого спектра при изменении условий на поверхности.

Особенно много работ в последнее время посвящено изучению фотоэмиссионным методом влияния адсорбции Cs, Cs-O [8-10] на поверхностные свойства арсенида галлия. Это обусловлено тем, что в этом случае получается эффективный эмиттер с отрицательным электронным сродством к электрону [11-13]. Однако большинство таких исследований носит чисто практический характер и в них не уделяется должного внимания выяснению поверхностных свойств арсенида галлия.

Высокая эффективность фотоэмиссии из сильно легированного цинком GaAs p-типа ($p \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$) при адсорбции Cs-O обусловлена возникающим в этом случае отрицательным сродством к электрону [13], однако высокая эффективность фотоэмиссии наблюдалась и образцов GaAs p-типа со значительно меньшим уровнем легирования германием ($p \approx 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) при такой же обработке поверхности Cs и O [14].

Выделение ранее нерешенных частей общей проблемы, которым посвящается данная статья. Можно предположить, что высокая эффективность фотоэмиссии у образцов GaAs p-типа, легированных германием, могла быть обусловлена либо влиянием германия на объёмные свойства, либо образовавшимися особыми условиями на поверхности арсенида галлия вследствие присутствия там атомов германия.

Постановка задачи. В связи с этим представляет интерес выяснить, как влияет адсорбция атомов германия на фотоэмиссию из образцов монокристаллов арсенида галлия различного типа проводимости.

Цель статьи. Изучению влияния адсорбции атомов германия на свойства приповерхностного слоя арсенида галлия, а также на структуру энергетического спектра электронов использованы методы фотоэмиссии:

- спектрального распределения квантового выхода фотоэмиссии $Y(h\nu)$;
- энергетического распределения фотоэлектронов $N(E)$.

Результат исследований. Исследования проводились в нанометрическом сверхвысоковакуумном фотоэлектронном спектрометре [15] на образцах GaAs (как n-типа, так и p-типа) физические параметры которых представлены: – концентрации носителей тока соответственно для каждого использованного образца n-типа: $5 \cdot 10^{15} \text{ (см}^{-3}\text{)}$, $1,24 \cdot 10^{17} \text{ (см}^{-3}\text{)}$, $3,1 \cdot 10^{18} \text{ (см}^{-3}\text{)}$ и p-типа $1,4 \cdot 10^{19} \text{ (см}^{-3}\text{)}$; подвижности образцов соответственно: $4350 \text{ (см}^2\text{/В·сек)}$, $4000 \text{ (см}^2\text{/В·сек)}$, $3200 \text{ (см}^2\text{/В·сек)}$, $42,3 \text{ (см}^2\text{/В·сек)}$;

удельные сопротивления: $1,16 \cdot 10^{-2} \text{ (Ом·см)}$, $3,84 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом·см)}$, $9,47 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом·см)}$, $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом·см)}$. Ориентация плоскостей контролировалась рентгеноструктурным методом, и отклонения от указанного направления не превышало 3° . У каждого из четырех: 1n – (110); 2n – (110); 3n – (111); 4p – (110) исследованных образцов эмитирующие плоскости шлифовались и химически полировались в смеси $1(\text{H}_2\text{O}_2) : 3(\text{H}_2\text{SO}_4) : 1(\text{H}_2\text{O})$.

Все исследования проведены при различных толщинах покрытия германием поверхности арсенида галлия в одинаковых вакуумных условиях ($p = 2 \cdot 10^{-9}$ Торр), полученные результаты для всех образцов можно было сравнить между собой. Толщина адсорбированного слоя германия определялась по времени напыления из калиброванного источника. Толщина пленки при одном цикле покрытия составляла $\sim 3 \text{ \AA}$ и учитывая размеры атомов германия (радиус атомов германия составляет $\sim 1,32 \text{ \AA}$) можно считать, что образовавшаяся пленка соответствует монослойному покрытию поверхности арсенида галлия германием.

Калибровку источника напыления проводили интерференционным методом Толанского для измерения толщин испаряемых слоев германия.

а) Спектральное распределение квантового выхода электронов из GaAs при покрытии его поверхности германием.

При всех покрытиях измерялось спектральное распределение квантового выхода фотоэмиссии $Y(h\nu)$. Результаты таких измерений для образца 2n представлены на рис. 1. Видно, что при адсорбции германия на поверхность арсенида галлия квантовый выход увеличивается (кривая 2). Максимальный квантовый выход наблюдается при степенях покрытия $\theta = 2$ монослоя. А при степени покрытия уже $\theta = 3$ монослоя квантовый выход начинает уменьшаться.

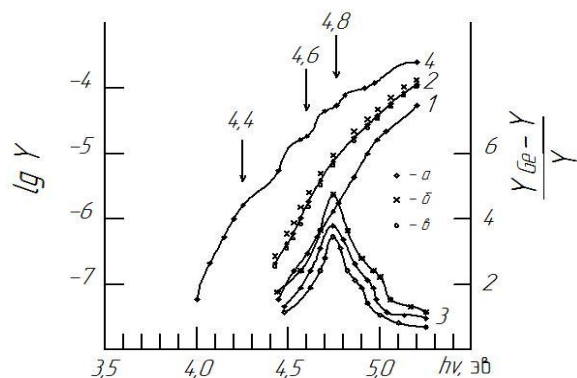


Рис. 1. Спектральное распределение квантового выхода GaAs (образец 2n). 1 – без покрытия Ge; 2 – при покрытии Ge {а) • – 1 монослой; б) × – 2 монослоя; в) * – 3 монослоя}; 4 – спектральное распределение при пократии барием ($\theta = 0,5$ монослоя); 3 – относительное увеличение квантового выхода при покрытии

Структурных особенностей на рассматриваемых кривых не наблюдается, не обнаружено также и заметного изменения длинноволновой границы фотоэмиссии.

Найденное значение порога фотоэмиссии (из экстраполяции $Y^{1/3}$ от $h\nu$) для образца 2n было $h\nu_0 = 4,24$ эВ. Столь незначительным уменьшением фотоэлектронной работы выхода невозможно объяснить наблюдаемое увеличение квантового выхода.

Относительное увеличение квантового выхода $\frac{Y_{Ge-Y}}{Y}$ в зависимости от энергии фотонов (кривые 4, рис. 1.) существенно отличается от соответствующих зависимостей в случае покрытия поверхности GaAsBa и O[16] и имеет избирательный характер. При энергиях фотонов, соответствующим межзонным переходам в ($h\nu = 4,6$ эВ и $h\nu = 4,8$ эВ) наблюдается наибольшее увеличение квантового выхода фотоэмиссии. Такие зависимости имеют место у всех изученных образцов арсенида галлия при покрытии германием.

Избирательное относительное увеличение квантового выхода фотоэмиссии $\frac{Y_{Ge-Y}}{Y}$ при покрытии поверхности GaAs германием показывает, что дипольный механизм уменьшения работы выхода при наличии на поверхности чужеродных атомов в данном случае не имеет места.

При нанесении на покрытые германием поверхности арсенида галлия слоя бария ($\theta = 0,5$ монослоя) появляются структурные особенности (кривая 3, рис. 1) при энергии фотонов: $h\nu = 4,8$ эВ; $h\nu = 4,6$ эВ и $h\nu = 4,4$ эВ, что, как показано [] соответствует оптическим переходам в GaAs. Это позволяет предположить, фотоэмиссия происходит из арсенида галлия.

Для выяснения причины роста квантового выхода $Y(h\nu)$ (кривые 2, рис. 1) при покрытии поверхности арсенида галлия Ge были проведены экспериментальные исследования по изучению распределения фотоэлектронов по энергия у образцов 2n и 4p.

б) Энергетического распределения фотоэлектронов $N(E)$ из GaAs при покрытии его поверхности германием.

Измерения распределения фотоэлектронов по энергиям производилось как для не покрытой, так и для покрытой германием поверхности образцов 2n и 4p (Рис. 2.). Видно, что при всех степенях покрытия θ распределения имеют два максимума, один из которых I соответствует прямому межзонному переходу в арсениде галлия ($E = 4,6$ эВ) и наблюдается также в энергетическом распределении у непокрытого германием образца. Второй максимум II для обоих исследованных образцов расположен на одинаковом энергетическом расстоянии от максимума I. Это энергетическое расстояние меньше энергетического расстояния между максимумами на кривых 4 рис.1. У образца 4p интенсивность максимума II при порытии

германием $\theta = 2$ значительно больше, чем интенсивность максимума I. У образца 2n различия между интенсивностями максимумов I и II много меньше.

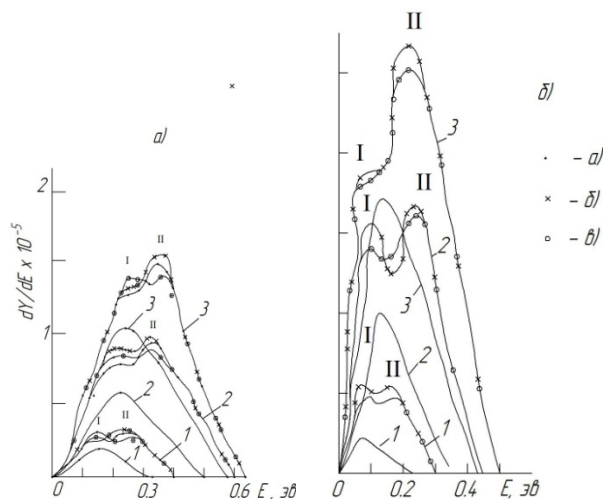


Рис. 2. Распределения фотоэлектронов по энергиям для образцов 2n(а) и 3p(б). Кривые сняты при различных значениях фотонов $h\nu$, эВ: 1 – 4,68; 2 – 4,89; 3 – 4,99 (без покрытия германием), 1' – 4,68; 2' – 4,89; 3' – 4,99 (при пократии германием: {а) • – 1 монослой; б) x – 2 монослоя; в) * – 3 монослоя}

При изменении степени покрытия германием θ интенсивность максимумов I и II изменяется: с увеличением интенсивности максимума II интенсивность максимум I уменьшается. Наибольшая интенсивность максимума II наблюдается при $\theta = 2$ монослоя, но при $\theta = 3$ монослоя интенсивность этого максимума уменьшается, а возрастает интенсивность максимума I.

С изменением энергии $h\nu$ фотонов, как видно из представленных экспериментальных данных (рис. 2.) максимумы I и II смещаются по шкале энергий так, что $\Delta E_{max} \neq \Delta h\nu$. Это указывает на то, что наблюдаемые электронные переходы являются прямыми. Энергия электронного перехода, соответствующая максимуму II на кривых энергетических распределений, равна 4,7 эВ. Переход с такой энергией для GaAs отсутствует.

Подобного перехода не обнаружено и при исследовании GaAs со сниженной работой выхода посредством нанесения покрытия Ba [17] BaO [18], а также в работах других авторов.

Если допустить, что наблюдаемый переход обусловлен оптическим возбуждением электронов в слое германия, то интенсивность этого перехода, по мере возрастания степени покрытия θ поверхности арсенида галлия германием должна также возрастать. Однако с увеличением степени покрытия θ интенсивность этого электронного перехода уменьшается, как это наблюдается в эксперименте

(рис. 2а и 2б – кривые 3'б и 3'в). Следовательно приписывать этот электронный переход только германию нет оснований.

Авторами в работе [19] было показано значение локального действия электрического поля на локальную электронную структуру твердого тела. Если предположить, что в случае взаимодействия германия с арсенидом галлия происходит аналогичное влияние атомов германия на электронную структуру арсенида галлия, то дополнительный максимум, возможно, и обусловлен таким влиянием.

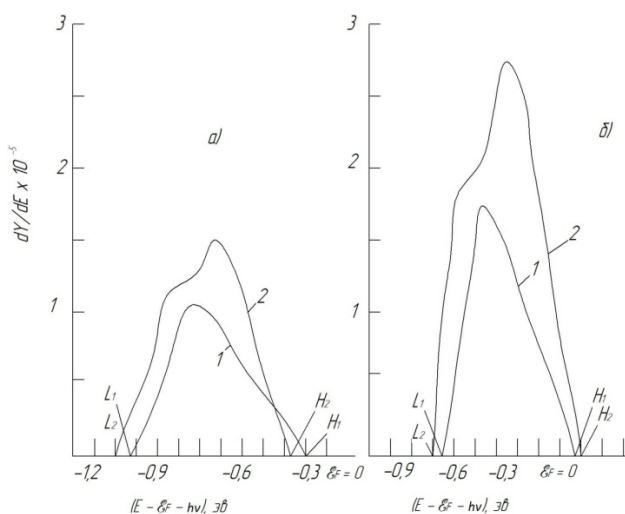


Рис. 3. Смещенные на $h\nu$ энергетические распределения фотоэлектронов из образцов 2n (а) и 4p (б).

Кривые 1 – без покрытия германием; 2 – при покрытии германием. Энергия фотонов $h\nu = 4,99$ эВ

Анализ энергетических распределений, проведенный по методу смещения энергетических распределений на величину энергии фотонов $h\nu$ (рис. 3а. и рис. 3б.), показал, что при адсорбции атомов германия на поверхность монокристаллов арсенида галлия имеет место незначительное уменьшение фотоэлектронной работы выхода. Это уменьшение (рис. 3а.) для образца 2n обусловлено смещением низкоэнергетического края распределения $(E_F - L_2) > (E_F - L_1)$, т.е. обусловлено изменением электронного сродства χ . Для образца 4p наблюдается незначительное смещение высокоэнергетического края ΔH в сторону уровня Ферми E_F , т.е. загиб зон незначительно уменьшается; низкоэнергетический край распределения L_1 смещается так, что $(E_F - L_2) > (E_F - L_1)$, а, следовательно, и для образца GaAs p-

типа при адсорбции на его поверхность германия электронное сродство χ уменьшается.

Энергетические параметры, экспериментально полученные для образцов 2n и 4p из спектральных распределений квантового выхода и энергетических распределений фотоэлектронов, представлены в таблице.

Из представленных в таблице результатов видно, что уменьшение порога фотоэмиссии $h\nu_0$ и термоэлектронной работы выхода φ_T у образцов GaAs n-типа при адсорбции атомов Ge на поверхность монокристаллов арсенида галлия обусловлено уменьшением электронного сродства χ . Положение уровня Ферми E_F остается почти без изменения. У образца GaAs p-типа при адсорбции атомов Ge на поверхность монокристаллов арсенида галлия наряду с уменьшением электронного сродства χ , наблюдается незначительное изменение загиба зон φ_0 на поверхности электронов GaAs.

Таким образом, причины появления и поведения второго максимума на его поверхность атомов Ge окончательно не выявлена.

Однако наблюдаемое увеличение квантового выхода при энергиях фотонов $h\nu$, соответствующих прямым межзонным переходам в GaAs (рис. 1, кривые 4), и характер поведения максимумов в энергетических распределениях фотоэлектронов при изменении $h\nu$ степени покрытия θ (рис. 2а и 2б.) позволяет предположить, что взаимодействие атомов германия с атомами арсенида галлия приводит к локальному изменению электронной структуры в полупроводнике.

Выводы.

1. Проведено исследование фотоэмиссии из образцов GaAs различного типа проводимости при адсорбции на его поверхность германия. Адсорбция германия на поверхность арсенида галлия приводит к росту квантового выхода $Y(h\nu)$ во всей области изученного спектра энергии фотонов. Этот рост $Y(h\nu)$ невозможно объяснить наблюдаемым уменьшением фотоэлектронной работы выхода φ_0 .

Относительное увеличение квантового выхода при покрытии поверхности в GaAs германием носит избирательный характер. Наибольшее относительное увеличение $\frac{Y_{Ge} - Y}{Y}$ наблюдается при энергии фотонов $h\nu$, которая соответствует прямым переходам в GaAs в направлении Σ с энергией 4,6 эВ и переходу $\Gamma_{15v} \rightarrow \Gamma_{15c}$ с энергией 4,8 эВ.

Таблица

| № образца | $h\nu_0$, эВ | φ_T , эВ | $(E_F - E_v)_B$, эВ | $(E_F - E_v)_S$, эВ | χ , эВ | φ_0 , эВ |
|------------------|---------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------|------------------|
| 2n | 4,3 | 4,13 | 1,372 | 0,17 | 2,90 | 1,20 |
| 2n _{Ge} | 4,24 | 4,06 | | 0,18 | 2,84 | 1,19 |
| 4p | 4,43 | 4,33 | - 0,032 | 0,10 | 3,03 | - 0,13 |
| 4p _{Ge} | 4,34 | 4,23 | | 0,06 | 2,94 | - 0,09 |

2. В энергетических распределениях фотоэлектронов, наряду с максимумом, соответствующим переходу в GaAs в направлении Σ с энергией 4,6 эВ, наблюдается дополнительный максимум с энергией 4,7 эВ. Этот дополнительный максимум нельзя приписать прямому переходу GaAs, а также переходу в Ge.

3. Изменение термоэлектронной работы выхода ϕ_T при адсорбции германия на поверхность арсенида галлия обусловлено уменьшением электронного сродства χ , а у образца GaAs p-типа при этом наблюдается незначительное уменьшение зон.

4. Взаимодействие германия с арсенидом галлия, возможно, приводит к локальному изменению электронной структуры в GaAs, что, по видимому, и приводит к появлению дополнительного электронного перехода и стимулирует повышение фотоэмиссии.

В перспективе планируется рассмотреть этот эксперимент более детально с использованием дополнительных оптических методов исследования сути вопроса прямых электронных переходов.

Л и т е р а т у р а

1. Ляшенко В. И. Электронные явления на поверхности полупроводников / Ляшенко В. И., Литовченко В. Г. Степко И. И., Стриха В. И., Ляшенко Л. В. – К.: Наукова думка, 1969.–358 с.
2. Киселев В. Ф. Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках / Киселев В. Ф. – М.: Наука, 1971.– 320 с.
3. Ржанов А. В. Электронные процессы на поверхности полупроводников /Ржанов А. В. – М.: Наука, 1973. – 268 с.
4. Волькенштейн Ф. Ф. Физико-химия поверхности полупроводников/Волькенштейн Ф. Ф. – М.: Наука, 1980.– 345 с.
5. J. Scheer, J van Laar The influence of cesium adsorption on surface Fermi level position in gallium arsenide /J. Scheer, J van Laar.– Surf. Sci., 1969, 18 p. 130 – 139.
6. G. Q.Gobely, F. G. Allen Photoelectric Properties of Cleaved GaAs, GaSb, InAs and InSb Comparison with Si and Ge / G. Q.Gobely, F. G. Allen – Phys. Rev. 1965. 137. p. A245 – A249.
7. Кремков М. В. Корпускулярная низкоэнергетическая диагностика поверхности твердого тела / Кремков М. В. – Академия наук Узбекской ССР. Институт электроники имени У. А. Арифова; Ташкент: изд-во «ФАН» Узбекской ССР, 1986.– с.164.
8. L. W. James, J. L. Mool, Photoemission from GaAs of p-type at adsorption of Cs and O / W. James, J. L. Mool – Phys. Rev., 1969. 183. p 740 – 745.
9. Eden R. C., Mool J. L., Spicer W. E. Photoemissive properties of p-type gallium arsenide in the adsorption of cesium and oxygen/ Eden R. C., Mool J. L., Spicer W. E. – Phys. Rev. Lett., 1969.– 18. p 597 – 600.
10. J. Scheer, J van Laar Effect of Cesium and Oxygen on the Threshold of Photoemission from the Surface of Gallium Arsenide / J. Scheer, J van Laar – Sol. St. Comm., 1965. 3 p. 189 – 194.

11. H. Sonnenberg Photocathodes of gallium arsenide with negative electron affinity / H. Sonnenberg – Appl. Phys. Lett., 1970. 16. p. 245 – 248.
12. Fischer T. E. Determination of Semiconductor Surface properties by means of photoelectric emission / Fischer T. E. – North-Holland Publishing Co., Emgsterdam, Surface Science, 1969, 13. p. 30 – 52.
13. Sommer A. H. Photoemitters with negative electron affinity / Sommer A. H. – J. Appl. Phys., 1972. 42 p. 2158 – 2164/
14. Schade H., Nelson H., Kressel H. High efficiency of emission from GaAs photocathodes doped with Ge / Schade H., Nelson H., Kressel H. – Appl. Phys. Lett., 1971. 18. p. 121 – 126.
15. Кулышев А. М., Черникова И. Д., Черников Н. Г. Нанометрический корпускулярный фотоэлектронный спектрометр / Кулышев А. М., Черникова И. Д., Черников Н. Г. – Вісник СХУ ім. В. Даля, сб. наук. праць. Северодонецьк: вид-во СХУ ім. В. Даля, №5(222) 2015. – с. 40 – 45.
16. Бова А. Р., Волошин М. А., Латиш О. Б. и др. Влияние структурных изменений на поверхности на энергетический спектр электронов в арсениде галлия / Бова А. Р., Волошин М. А., Латиш О. Б., Черникова И. Д., Черников Н. Г. – Вісник СХУ ім. В. Даля, сб. наук. праць. Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, №12(154), ч. 2., 2010. – с. 40 – 45.
17. Кормилицина Е. В., Черникова И. Д. Фотоэмиссионная спектроскопия из поверхности GaAs / Кормилицина Е. В., Черникова И. Д. – Матеріали XVIII міжнародної науково-техн. конф., м. Северодонецьк 17 – 18 квітня 2015 р., ч. 2.– с. 81 –84.
18. Кулышев А. М., Черникова И. Д., Черников Н. Г. Влияние состояния поверхности полупроводников на работу выхода фотодетекторов./ Кулышев А. М., Черникова И. Д., Черников Н. Г. – Вісник СХУ ім. В. Даля, сб. наук. праць. Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, №2(226), 2016. – с. 112 – 123.
19. Bergstresser T. K., Rublof S. W. The effect of germanium impurities on the emission properties of p-type gallium arsenide / Bergstresser T. K., Rublof S. W. – Phys. Rev. Lett., 1973. 30, p. 794 – 799

R e f e r e n c e s

1. Lyashenko V. I. Elektronnyye yavleniya na poverkhnosti poluprovodnikov / Lyashenko V. I., Litovchenko V. G. Stepko I. I., Strikha V. I., Lyashenko L. V. – K.: Naukova dumka, 1969.–358 s
2. Kiselev V. F. Poverkhnostnyye yavleniya v poluprovodnikakh i dielektrikakh / Kiselev V. F. – M.: Nauka, 1971.– 320 s
3. Rzhanov A. V. Elektronnyye protsessy na poverkhnosti poluprovodnikov /Rzhanov A. V. – M.: Nauka, 1973. – 268 s.
4. Vol'kenshteyn F. F. Fiziko-khimiya poverkhnosti poluprovodnikov/Vol'kenshteyn F. F. – M.: Nauka, 1980.– 345 s.
5. J. Scheer, J van Laar The influence of cesium adsorption on surface Fermi level position in gallium arsenide /J. Scheer, J van Laar.– Surf. Sci., 1969, 18 p. 130 – 139.
6. G. Q.Gobely, F. G. Allen Photoelectric Properties of Cleaved GaAs, GaSb, InAs and InSb Comparison with Si and Ge / G. Q.Gobely, F. G. Allen – Phys. Rev. 1965. 137. p. A245 – A249.
7. Kremkov M. V. Korpuskulyarnaya nizkoenergeticheskaya diagnostika poverkhnosti tverdogo tela / Kremkov M. V. – Akademiya nauk Uzbekskoy SSR. Institut elektroniki

- imeni U. A. Arifova; Tashkent: izd-vo «FAN» Uzbekskoy SSR, 1986.– s.164.
8. L. W. James, J. L. Mool, Fotoemisiya from GaAs of p-type at adsorption of Cs and O / W. James, J. L. Mool – Phys. Rev., 1969. 183. p 740 – 745.
 9. Eden R. C., Mool J. L., Spicer W. E. Photoemissive properties of p-type gallium arsenide in the adsorption of cesium and oxygen/ Eden R. C., Mool J. L., Spicer W. E. – Phys. Rev. Lett., 1969.– 18. p 597 – 600.
 10. J. Scheer, J van Laar Effect of Cesium and Oxygen on the Threshold of Photoemission from the Surface of Gallium Arsenide / J. Scheer, J van Laar – Sol. St. Comm., 1965. 3 p. 189 – 194.
 11. H. Sonnenberg Photocathodes of gallium arsenide with negative electron affinity / H. Sonnenberg - Appl. Phys. Lett., 1970. 16. p. 245 - 248.
 12. Fischer, T. E., Determination of Semiconductor Properties, Fischer, T. E., North-Holland Publishing Co., Emgsterdam, Surface Science, 1969, p. 30 - 52.
 13. Sommer A. H. Photoemitters with negative electron affinity / Sommer A. H. - J. Appl. Phys., 1972. 42 p. 2158 - 2164 /
 14. Schade H., Nelson H., Kressel H. High efficiency of emission from GaAs photocathodes doped with Ge / Schade H., Nelson H., Kressel H. - Appl. Phys. Lett., 1971. 18. p. 121-126.
 15. Kulyshv AM, Chernikova ID, Chernikov NG The nanometric corpuscular photoelectronic spectrometer / Kulyshv AM, Chernikova ID, Chernikov NG - Вісник СХУ ім. В. Даля, sb. sciences. prac. Северодонецьк: view of SNU ім. В. Даля, №5 (222) 2015. - с. 40 - 45.
 16. Bova AR, Voloshin MA, Latish OB, et al. Influence of structural changes on the surface on the energy spectrum of electrons in gallium arsenide / Bova AR, Voloshin MA, Latish O. B., Chernikova I. D., Chernikov N. G. - Вісник СХУ ім. В. Даля, sb. sciences. prac. Lugans'k: view of SNU ім. В. Даля, №12 (154), ч. 2., 2010. - с. 40 - 45.
 17. Kormilitsina EV, Chernikova ID Photoemission spectroscopy from the GaAs surface / Kormilitsina EV, Chernikova ID - Material of the XVIII international scientific and technical. Conf., м. Северодонецьк 17 - 18 квітня 2015 р., ч. 2.- с. 81 -84.
 18. Kulyshv AM, Chernikova ID, Chernikov NG Influence of the state of the surface of semiconductors on the work function of photodetectors. / Kulyshv AM, Chernikova ID, Chernikov NG - Вісник СХУ ім. В. Даля, sb. sciences. prac. Lugans'k: view of SNU ім. В. Даля, №2 (226), 2016. - с. 112 - 123.
 19. Bergstresser T. K., Rublof S. W. The effect of germanium impurities on the emission properties of p-type gallium arsenide / Bergstresser T. K., Rublof S. W. - Phys. Rev. Lett., 1973. 30, p. 794 – 79.

Н.Г. Черніков, І.Д. Чернікова Дослідження адсорбції германію на поверхню арсеніду галію фотоемісійним методом.

У статті розглянуто вплив адсорбованих шарів германію на поверхні монокристалів арсеніду галію різного типу провідності фотоемісійним методом в надвисокому вакуумі. Вивчено питання впливу адсорбованих шарів на електронну структуру підкладки, а так само яким чином впливають атоми германію на зміну роботи виходу фотоелектронів з монокристалів арсеніду галію: за рахунок електронної спорідненості чи загнути зон.

Ключові слова: напівпровідник, поверхня твердого тіла, фотон, енергія фотонів, адсорбція, підкладка, квантовий вихід, розподіл фотоелектронів по енергіях, вакуум.

N.G. Chernikov, I.D. Chernikova Investigation of adsorption of germanium on the surface of gallium arsenide by the photoemission method.

In the article the influence of adsorbed layers of germanium on the surface of single crystals of gallium arsenide of different types of conductivity by the photoemission method in a superhigh vacuum is considered. The influence of adsorbed layers on the electronic structure of the substrate has been studied, as well as how the germanium atoms influence the change of the work of the output of photoelectrons from gallium arsenide single crystals: due to electron kinship or bending of the zones.

Particular attention was paid to the effect of adsorbed germanium layers on the interband electronic transitions in gallium arsenide single crystals. An additional interband transition, which does not correspond to GaAs, is found.

Key words: semiconductor, solid surface, photon, photon energy, adsorption, substrate, quantum yield, photoelectron distribution by energies, vacuum.

Черніков Микола Григорійович – к.фіз.-мат.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
chernikov_n_g@ukr.net

Чернікова Ірина Дем'янівна – старший викладач кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
chernikova_i_d@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Харламов Ю.О.**

Стаття подана 28.09 2017