

Ikromov Avazbek Shoyatbek o'g'li
Andijon davlat universiteti, stajyor-tadqiqotchi,
Xolyigitova Gulhayot Sulaymonova
Andijon davlat universiteti, magistrant,
Madaminov Xurshidjon Muxamedovich
Andijon davlat universiteti, dotsent, f.-m.f.n
Tel: 91 169-74-57, e-mail: khurmad@mail.ru
UDK 621.315.592.3

pSi-n(Si₂)_{1-x}(CdS)_x-tuzilmalar volt-amper xarakteristikasining deterministik xarakteri

Annotatsiya: Maqolada (Si₂)_{1-x}(CdS)_x qattiq eritmasi asosida hosil qilingan *p-n*-tuzilmalarining tok o'tish mexanizmlariga harorat va rekombinatsion omillaring birgalikdagi ta'sirini aniqlash bo'yicha tajriba natijalari bayon etilgan.

Kalit so'zlar: qattiq eritma, suyuq fazali epitaksiya usuli, taglik, volt-amper xarakteristika, diffuzion tok.

Икромов Авазбек Шоятбек угли
Андижанский государственный университет, стажёр-исследователь
Холйигитова Гулхаёт Сулаймановна
Андижанский государственный университет, магистрант
Мадаминов Хуршиджон Мухамедович
Андижанский государственный университет, доцент, к.ф.-м.н.
тел: 91 169-74-57 e-mail: khurmad@mail.ru

Детерминистический характер вольт-амперной характеристики pSi-n(Si₂)_{1-x}(CdS)_x-структур

Аннотация: В работе приведены экспериментальные результаты по определению механизмов токопрохождения с учетом совместного

воздействия температуры и рекомбинации в p - n - структурах, разработанных на основе твердого раствора $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$.

Ключевые слова: твердый раствор, метод жидкофазной эпитаксии, подложка, вольт-амперная характеристика, диффузионный ток.

Ikromov Avazbek Shoyatbek ogli

Andijan State University, intern researcher,

Kholyigitova Gulkhayot Sulaymonova

Andijan State University, Master degree student

Madaminov Khurshidjon Mukhamedovich

Andijan State University, Associate Professor, PhD

phone: 91 169-74-57 e-mail: khurmad@mail.ru

Deterministic nature of the current-voltage characteristic $p\text{Si-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ -structure

Abstract: The paper presents experimental results on determining the mechanisms of current flow taking into account the combined effect of temperature and recombination in p - n structures developed on the basis of the solid solution $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$.

Keywords: the solid solution, liquid-phase epitaxial method, the substrate, current-voltage characteristic, the diffusion current.

Введение

На мировом уровне при синтезе полупроводниковых твердых растворов (ПТР) с наилучшими характеристиками, перспективным является твердый раствор (ТР) кремния с сульфидом кадмия [1]. Во многих научных центрах и лабораториях проводятся научные обследования по выращиванию этих ПТР с управляемым составом и кристаллическим совершенством, эффективно усваиваются их структурные, электрофизические и фотоэлектрические свойства [2-3]. Так же среди них уделяется особенный

интерес разработке наилучших технологий выращивания ТР кремния с сульфидом кадмия из жидкой фазы в целях получения активных материалов для солнечных элементов [4].

Обзор литератур

Несмотря на многочисленность исследований ПТР кремния [5-7] с сульфидом кадмия останутся менее освоенными технологические особенности синтеза совершенных монокристаллов этих ТР, их поверхностные и электрические свойства [8-12]. Авторами работы [13-14] было установлено, что в диодных структурах на основе ТР кремния с сульфидом кадмия при комнатной температуре электронные процессы определяются разными механизмами; но отсутствуют экспериментальные результаты по установлению механизмов токопрохождения с учетом совместного воздействия температуры и рекомбинации в *p-n*- структурах, разработанных на основе ПТР $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$.

Методология исследования

Для проведения опытов были выращены ТР кремния с сульфидом кадмия методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ). Характеристические параметры подложки и выращенного эпитаксиальной пленки (ЭП) ТР приведены в табл. 1.

Таблица 1

Некоторые характеристические параметры подложки и ЭП ТР

параметры	D, мм	h, мм	ρ , мОм·см	T, °C	V, °C/мин
подложка	20	360	10		
ЭП		10-25	16	1100	1

T - температура начала кристаллизации, V - скорость вынужденного охлаждения подложки.

Исследования проведены на *p-n*-структурах, изготовленных на основе выращенного ТР “кремний-сульфид кадмия”. С целью изучения вольт-амперных характеристик (ВАХ) в широком температурном диапазоне от 293 до 463 К, в структурах были созданы омические контакты путем напыления серебра (Ag) в вакууме при давлении около 10^{-5} Торр. Контакты со стороны

подложки были сплошными, а контакты со стороны ЭП имели форму четырехугольников с площадью около 10 мм².

Весь набор измерений ВАХ был проведен на криостате, в котором структуры были помещены и плотно фиксированы с помощью специальными зажимами. Во время измерений в криостате значения остаточного давления колебалось в диапазоне $\sim 3\text{-}10$ Торр. Для регистрации силы тока, пронзающий через исследуемый образец был использован прибор с маркой Щ-300К. А с помощью вольтметром В7-9 регистрировались, напряжение, подаваемое к исследуемым диодным структурам. Потенциал, приложенный к подложке означало направления тока в структуре, т.к. прямым числилось, когда прикладывались положительный, а обратным – отрицательный потенциал.

Результаты и их обсуждения

Анализом прямой ветви ВАХ, при условиях комнатной температуры n-р-структур обнаружено, определено три ярко проявленных участка: первый и третий характеризуется со степенной зависимости в виде $-j \propto V^\beta$, а второй логарифмической функцией. Последний участок имеет детерминистический характер, т.к. с повышением температуры обменивается более слабыми зависимостями (табл. 2).

Таблица 2

Характеристические участки прямой ветви ВАХ pSi-n(Si₂)_{1-x}(CdS)_x-структур

Температура	Диапазон напряжений		
	0 ... 0.2 В	0.2 ... 1.7 В	1.8 ... 3.0 В
$T = 293K$	$\beta = 1$	$\ln j \propto V$	$\beta = 3.5$
$T = 363K$	$\beta = 1$	$\ln j \propto V$	$\beta = 3.0$
$T = 403K$	$\beta = 1$	$\ln j \propto V$	$\beta = 2.8$
$T = 423K$	$\beta = 1$	$\ln j \propto V$	$\beta = 2.5$

Как известно, р-і-п- структура (р-п-п⁺ - структура) с длинной высокоомной, сильно компенсированной базой $d/L_p \geq 10$ (где d – толщина базы, L_p – длина диффузии неосновных носителей – в нашем случае – дырок) работает как инжекционный фотодиод, в котором протекающие токи определяются биполярным дрейфом носителей заряда.

На третьем участке ВАХ зависимость $j \propto V^3$ более менее строго наблюдается в области 343-363 К, затем с ростом температуры уменьшается показатель степени и при $T=403$ К становится равным 2.8. Предполагая, что на участке $j \propto V^3$ ток ограничивается рекомбинацией в базе структуры и рекомбинационные процессы происходят в основном через простые локальные центры, по формуле

$$j = \frac{125}{18} \cdot \frac{\epsilon \mu_p \mu_n \tau_p V^3}{W^5}$$

вычислено произведение $\mu_p \tau_p$ в зависимости от температуры.

Из рисунка следует, величина $\mu_p \tau_p$ при комнатной температуре ($T=363$ К) равна $5.19 \cdot 10^{-6}$ см²/В, затем с повышением температуры её величина уменьшается и при температуре $T=403$ К становится равной $5.13 \cdot 10^{-6}$ см²/В.

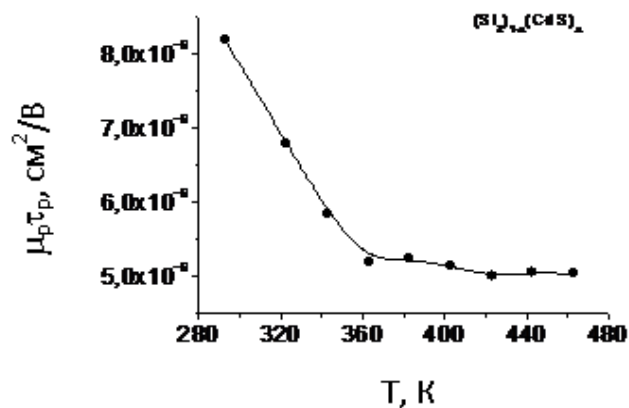


Рис. Зависимость $\mu_p \tau_p$ от температуры pSi-n(Si₂)_{1-x}(CdS)_x-структур

Такое изменение величины $\mu_p \tau_p$ с температурой объясняется, прежде всего, перезарядкой рекомбинационных центров, во вторых, уменьшением

показателя степени с ростом температуры. Например, величина β при температурах 343 К и 403 К соответственно равна 3,0 и 2,5. Отсюда следует, что при этих температурах начинают принимать участие в переносе тока носители из другого слоя базы структуры, которые могут влиять на точность величины $\mu_p \tau_p$.

Тем не менее, данные на рис. отражают динамику изменения величины $\mu_p \tau_p$ от температуры. Так как база исследуемой структуры многослойная, сильно компенсированная и имеется в ней достаточное количество примесей и дефектов, перезарядка рекомбинационных центров с изменением температуры является определяющим фактором. Кроме того, величина $\mu_p \tau_p$ и её динамика изменения от температуры, приведенные на рис., характерны для соединений A^2B^6 и твердых растворов на их основе, а так же соответствует её величине, вычисленной по формуле $d/L_p \geq 10$ при $d=25$ мкм в диапазоне 293-463 К.

Заключения

Таким образом, pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x-структуры, полученные методом жидкофазной эпитаксии, обладают весьма необычными температурными свойствами, которые могут быть качественно объяснены в рамках представлений об интенсивном рождении вакансий и дефект-примесных комплексов с ростом температуры, что, в свою очередь, является определяющим для скорости рекомбинации неравновесных носителей.

В заключении можно отметить, что изменение температуры окружающей среды приводит к изменению последовательности в прямой ветви ВАХ, следовательно, к изменению механизма переноса тока. Эта особенность pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x-структур обязательно должна быть принята во внимание при разработке приборных структур на их основе.

Литература

1. Li Q., Li X., Yu J. Surface and interface modification strategies of CdS - based photocatalysts. Surface Science of Photocatalysis, 2020, pp. 313–348.

2. Cheng L., Xiang Q.J., Liao Y.L., Zhang H.W. CdS-based photocatalysts. *Energy Environ. Sci.*, 2018, no 11, pp. 1362-1391.
3. Yuan Y.J., Chen D.Q., Yu Z.T., Zou Z.G. Cadmium sulfide-based nanomaterials for photocatalytic hydrogen production. *J. Mater. Chem. A.*, 2018, no. 6, pp. 11606-11630.
4. Lang D., Xiang Q., Qiu G., Feng X., Liu F. Effects of crystalline phase and morphology on the visible light photocatalytic H₂-production activity of CdS nanocrystals. *Dalton Trans.*, 2014, no. 43, pp. 7245-7253.
5. Muruganandam, S., Anbalagan, G. & Murugadoss, G. Synthesis and structural, optical and thermal properties of CdS:Zⁿ²⁺ nanoparticles. *Applied Nanoscience*, 2014, vol. 4, no. 8. pp. 1013–1019.
6. Low J.X., Yu J.G., Jaroniec M., Wageh S., Al-Ghamdi A.A. Heterojunction photocatalysts. *Adv. Mater.*, 2017, no. 29, pp. 1601694-160714.
7. Li Q., Li X., Wageh S., Al-Ghamdi A., Yu J.G. CdS/graphene nanocomposite photocatalysts. *Adv. Energy Mater.*, 2015, vol. 5. no. 4, pp. 1500010-150019.
8. Yuan Y.P., Ruan L.W., Barber J., Loo S.C.J., Xue C. Hetero-nanostructured suspended photocatalysts for solar-to-fuel conversion. *Energy Environ. Sci.*, 2014, no. 7, pp. 3934-3951.
9. Zhang J., Qiao S.Z., Qi L., Yu J. Fabrication of NiS modified CdS nanorod p-n junction photocatalysts with enhanced visible-light photocatalytic H₂-production activity. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2013, no. 15, pp. 12088-12094.
10. Saidov A.S., Leyderman A.Y., Usmonov S.N. et al. Effect of Injection Depletion in *p*-Si-*n*-(Si₂)_{1-x}(ZnSe)_x (0≤x≤0.01) Heterostructure. *Semiconductors*, 2018, vol. 52, pp. 1188–1192.
11. Abdel-baset H. Mekky, Influence of temperature on CdS/CdTe thin film solar cell, *European Physics Journal: Appl. Physics*, 2019. vol. 87, pp. 30101(1-4).

12. Sabory-Garcia R. A., Leal-Cruz A.L., Vera-Marquina A., Garcia-Delgado L.A., Garcia-Juares A., Rojas-Herades A.G. Modeling and analytical study for efficiency improvement for solar cells based on CdS/PbS, CdS/CdTe and CdS/CdSe. Chalcogenide Letters, 2018. vol. 15, no. 12, pp. 625 – 638.
13. Зайнабидинов С.З., Мадаминов Х.М. Механизм токопрохождения в полупроводниковых $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}(\text{CdS})_x$ структурах. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. сер. Естественные науки, 2020, № 4 (91), с. 58–72.
14. Sapaev I.B., Sapaev B., Babajanov D.B. Current-voltage characteristic of the injection photodetector based on M(In)-nCdS-pSi-M(In) structure. SPQEO, 2019. vol. 22, no. 2. pp. 188 - 192.