

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
НАЦИОНАЛЬНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ОТКРЫТОГО ТИПА

Сборник трудов
III международной научной конференции
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ,
НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

15-16 мая 2014 г.



Алматы 2014

Физико-технический факультет
Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики
Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа

Сборник трудов
III международной научной конференции

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ,
НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

15-16 мая 2014 года
Алматы

Алматы
«Казак университеті»
2014

I.Kh. Zharekeshev

Sustainable renewable energy capacity in kazakhstan:
photovoltaics towards the EXPO-2017 exhibition..... 69

B.Ya. Yavidov, S.M. Zholdassova and S.K. Tulepbergenov

Combined influence of lattice's strain and electron-phonon interaction's screening on
small polaron 70

Г. Партизан, Yao Ma, Б.С. Медянова, Б.З. Мансуров, Б.А. Алиев

Исследование углеродных наноструктур полученных методом термического
cvd на частицах нанопорошков металлов..... 71

Г. Партизан, Yao Ma, А. Қалимолдинова, Б.З. Мансуров, Б.А. Алиев

Исследование морфологии и состава частиц нанопорошков металлов
полученных методом ЭВП..... 73

✓ *О.Ю. Приходько, Н.К. Манабаев, С.Я. Максимова, С.Л. Михайлова*

Влияния размерного эффекта на оптические свойства пленок алмазоподобного
углерода, модифицированных примесью платины 74

✓ *О.Ю. Приходько, Н.Ж. Алмасов, С.А. Дюсембаев, Д.Т. Кунафина,*

А.Н. Базаркулова, К.Н. Турманова

Модификация электронных свойств аморфных пленок халькогенидных
стеклообразных полупроводников..... 75

✓ *С.А. Дюсембаев, Ж.К. Толепов, Н.Р. Гусейнов, О.Ю. Приходько,*

Н.Ж. Алмасов, С.Я. Максимова, А.Е. Базаркулова, Ш.А. Жуматова, Н.Т. Темирбулатова

Оптические параметры пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников
систем Ge-Sb-Te, легированных висмутом 75

✓ *С.А. Дюсембаев, Ж.К. Толепов, Н.Р. Гусейнов, О.Ю. Приходько,*

Н.Ж. Алмасов, С.Я. Максимова, А.Е. Базаркулова

Эффекты переключения в пленках халькогенидных стеклообразных
полупроводников систем Ge-Sb-Te, легированных медью..... 76

✓ *О.Ю. Приходько, Н.К. Манабаев, С.Я. Максимова, С.Л. Михайлова,*

Т.К. Аширов, К. Токбергенов, Д.К. Жанаева

Структурная модификация электронных свойств пленок аморфного
гидрогенизированного углерода 78

Г.Ш. Яр-Мухамедова, К.О. Қошымова

Наноконпозициялық қаптамаларының коррозиялық процестерін оптикалық
металлография әдісімен зерттеу..... 78

Г.Ш.Яр-Мухамедова, Г.А.Исмаилова, А.Мархабаева, К.Кошимова

Особенности формирования наноструктурированных композиционных
электролитических систем..... 79

М.Б. Шарипбаев, А. Жуманазаров, Е. Бижанов

Определение структурных дефектов в квантово-размерных структурах методом НТ ФЛ..... 79

М. Шарипбаев, Е. Өтениязов, А. Юлдашев

Радиационные эффекты в квантово-размерных структурах соединений A_2V_6 81

М.Б. Шарипбаев, Қ.А. Исмаилов, Е.Өтениязов

Исследование оптические характеристики GaAs и $Al_xGa_{1-x}As$,
структур легированных иттербием 82

Г.С. Устаева, А. Б, Лесбаев, Б. М. Дабынов, З.А. Мансуров

Синтез полимерных нановолокон методом импульсного электроспиннинга 84

Ю.Ж. Тулеушев, В.Н. Володин, А.А. Мигунова, Е.А. Жаканбаев

Магнетронное получение аморфного и микроморфного кремния..... 84

С. Момынов, Е.С. Мухаметкаримов, А.Е. Давлетов, И.Р. Габитов,

А.И. Маймистов

Неколлинеарная генерация второй гармоники в метаматериалах 85

И.Н. Пархоменко, Ф.Ф. Комаров, Л.А. Власукова, О.В. Мильчанин, И.А. Романов,

А.К. Тогамбаева, Л.К. Тоганбаева

Структурные, оптические и электрофизические свойства нитрида кремния,
обогащенного кремнием 87

✓ *С.Б.Алдабергенова, Ш.Б.Байганатова, Мансуров Б.З., Е.Т.Таурбаев, Т.И.Таурбаев*

Двумерные углеродные дефекты карбида кремния как центры зародышеобразования
для ориентированного роста нанокристаллов алмаза 88

Ф. Султанов, М. Ауелханкызы, Г. Смагулова, Б. Лесбаев, З. Мансуров

Аэрогели на основе оксида графена с добавками углеродных
нанотрубок: синтез и свойства 89

Г.К. Ташкеева, Н.А. Салыбаева

Свойства углеродных пленок состава a-C-N..... 90

смеси с 5, 10 и 15 об. % H_2 . Распыление кремния проведено планарными магнетронами постоянного тока (авторской конструкции) [5]. Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре D8 Advance. Установлено, что покрытия представлены a-Si с микрокристаллитами кубической сингонии, обнаружены признаки существования некубического кремния – рис. 1(1). При увеличении содержания H_2 до 10 об.% и 15 об.% (рис. 1(2)) количество фазы некубического Si в покрытии возрастает. С помощью компьютерного фиттинга установлено, что наиболее точно совокупность рефлексов описывается орторомбической элементарной ячейкой с параметрами: $a = 0,83133$ нм, $b = 0,88066$ нм и $c = 0,65917$ нм. Для исследования возможности управления микрокристаллической структурой a-Si применены рекристаллизационные отжиги. Известно, что для рекристаллизации необходим нагрев до $0,5-0,6 T_{пл}$. Для проведения отжигов выбрана температура $0,5 T_{пл} Si = 700^\circ C$. На рис. 1 (3) приведены дифрактограммы образца аморфного Si, напыленного с использованием газа, содержащего 15 об.% H_2 , после отжига при $700^\circ C$ в течении 1 часа, свидетельствующие о стабильности этой фазы.

По формуле Дебая-Шеррера был рассчитан размер зерен фазы микроморфного кремния. Для рефлекса с индексами Миллера (111) измерена полная ширина пика на полувысоте $FWHM = 0,01669$ рад. Рассчитанный средний размер зерен равен 8,6 нм. Отмечено, что размер зерен фазы кубического кремния имеет максимальное значение для покрытия, напыленного в атмосфере с 10 об. % H_2 после отжига 5 часов. Значение среднего размера зерна составило 9,6 нм. Во всех образцах после отжигов при $700^\circ C$ 1 час и 5 часов наблюдается рефлекс с $d_{hkl} = 0,26732$ нм, который можно отнести к нестехиометрической фазе гидрида кремния $Si_{4-x}H$.

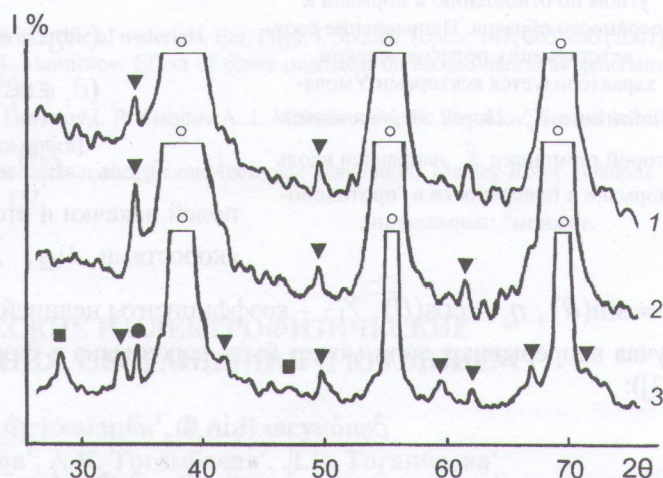


Рис.1. Дифрактограммы образцов Si-покрытий, сформированных при концентрации H_2 , об. %: 1-5; 2,3-15; 3-после отжига при $700^\circ C$; ▼ – Si некубической сингонии; ■ – кубический Si; ● – нестехиометрический гидрид $Si_{4-x}H$; ○ – Ta (подложка)

1. Von Schnering H.-G. et al. The lithium sodium silicide Li_3NaSi_6 and the formation of allo-silicon // J. Less Comm. Metals, 1988. – V.137, № 1-2. – P.297-310.
2. Bystritsky V.M. et al. Measurement of astrophysical S-factors and electron screening potentials for $d(d,n)^3He$ reaction in ZrD_2 , TiD_2 and $TaD_{0,5}$ targets in the ultralow energy region using plasma accelerator // Nuclear Physics A, 2012. – V. 889 – P. 93-104.
3. Volodin V.N., Tuleushev Yu.Zh., Zhakanbaev E.A. Radiation Synthesis of superconducting Phase in Niobium-Tin Film Coating // Abstr. Int. Conf. "Nuclear Science and its Application". – Samarkand, Uzbekistan. 25-28 September 2012. – P. 257.
4. Володин В.Н., Тулеушев Ю.Ж., Жаканбаев Е.А., Структура и фазовый состав напыленных пленок системы ниобий-углерод // ФММ. – 2013. – Т. 114, № 2. – С. 1-5.
5. Пат. РФ №2218450. Магнетрон / Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж., Володин В.Н.; опубл.10.12.2003. Бюл.№34.

НЕКОЛЛИНЕАРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В МЕТАМАТЕРИАЛАХ

С. Момынов¹, Е.С. Мухаметкаримов¹, А.Е. Давлетов¹, И.Р. Габитов^{2,3}, А.И. Маймистов⁴

¹КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, Алматы, Казахстан

²Университет Аризоны, Тусон, США

³Институт Теоретической Физики им. Л. Ландау, Черноголовка, Россия

⁴МИФИ, кафедра физики твердого тела и наносистем, Москва, Россия

В работе изучается процесс генерации второй гармоники в метаматериалах с отрицательным показателем преломления. Рассматривается случай, когда фазовый синхронизм достигается в результате неколлинеарного взаимодействия двух падающих под углом друг другу на частоте фундаментальной гармонике плоских волн с волной второй гармоники $\vec{k}_1^+ + \vec{k}_1^- + \vec{k}_2 = 0$, здесь \vec{k}_1^\pm, \vec{k}_2 волновые вектора соответствующие волнам накачки и второй гармоники. Данная задача является обобщением коллинеарной генерации второй гармоники рассмотренный в работах [1-4]. Предполагается, что на фундаментальной частоте ω показатель преломления метаматериала имеет отрицательный знак, а на

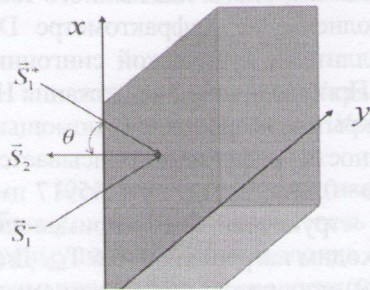


Рис. 1. Две волны накачки падают под углом по отношению к нормали к поверхности образца. Направление соответствующих потоков энергии характеризуется векторами Умова-Пойтинга \vec{S}_1^\pm . Поток энергии волны второй гармоники \vec{S}_2 направлен вдоль нормали к поверхности в "противоположном" направлении.

частоте второй гармоники 2ω является положительным. Волна второй гармоники распространяется вдоль биссектрисы волновых векторов падающих волн накачки. При этом направление вектора Умова-Пойтинга \vec{S}_2 второй гармоники противоположно направлению проекции векторов Умова-Пойтинга \vec{S}_1^\pm накачки на биссектрису (см.рис.1). Система уравнений, описывающая неколлинеарную генерацию второй гармоники, имеет следующий вид [1]:

$$\begin{aligned} (-\eta_z \partial_z + \eta_x \partial_x + v_1^{-1} \partial_t) E_1^{(+)} &= i\gamma_1 E_1^{(-)*} E_2 e^{i\Delta k \cdot r}, \\ (-\eta_z \partial_z - \eta_x \partial_x + v_1^{-1} \partial_t) E_1^{(-)} &= i\gamma_1 E_1^{(+)*} E_2 e^{i\Delta k \cdot r}, \\ (\partial_z + v_2^{-1} \partial_t) E_2 &= i\gamma_2 E_1^{(-)} E_1^{(+)} e^{-i\Delta k \cdot r}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь, $E_1^{(\pm)}$ и E_2 комплексные огибающие электрических полей накачки и второй гармоники соответствующими групповыми скоростями $v_{1,2}$, Δk рассогласование векторного синхронизма,

$\eta_x = \sin(\theta)$, $\eta_z = \cos(\theta)$, $\gamma_{1,2}$ – коэффициенты нелинейного взаимодействия. Система уравнений (1) для случая непрерывных волн может быть переписана в безразмерном виде в терминах амплитуд и фаз (ср. [2,3]):

$$\begin{aligned} \partial_z u^+ &= v u^- \sin \Phi, \quad \partial_z u^- = v u^+ \sin \Phi, \\ \partial_z v &= u^+ u^- \sin \Phi, \quad \partial_z \Phi = (v u^- / u^+ + v u^+ / u^- + u^+ u^- / v) \cos \Phi - \Delta, \\ u^\pm(0) &= u_0^\pm, \quad v(L)=0, \quad \Phi(L)=-\pi/2, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь $\Phi = \varphi_2 - \varphi_1^+ - \varphi_1^-$, где φ_1^\pm и φ_2 – фазы полей накачки и второй гармоника. Наличие общего множителя $\sin \Phi$ в уравнениях для полей системы (2) означает, что обмен энергией между гармониками происходит таким образом, что обе фундаментальные волны теряют либо приобретают энергию одновременно. Обмен энергии между волнами u^- и u^+ через вторую гармонику невозможен. Система уравнений (2) имеет три интеграла движения [2-4]:

$$(u^+)^2 - v^2 = m_1^2, \quad (u^-)^2 - v^2 = m_2^2, \quad u^- u^+ v \cos \Phi - v^2 \Delta / 2 = 0, \quad (3)$$

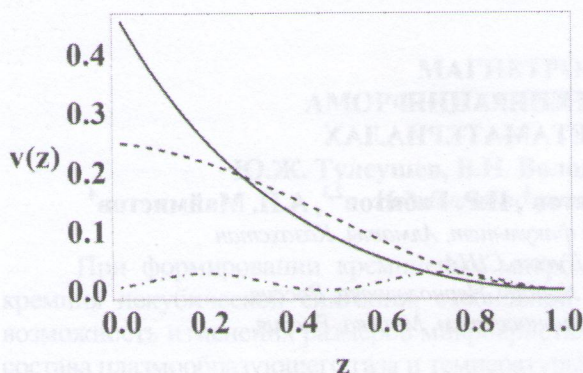


Рис. 2. Пространственные профили интенсивностей второй гармоники внутри образца при различных Δ : $\Delta < \Delta_{cr}$ – сплошная, $\Delta = \Delta_{cr}$ – штриховая и $\Delta > \Delta_{cr}$ – штрих-пунктирная кривая, соответственно.

где $m_{1,2} = u_1^\pm(L)$. Из последнего уравнения системы (3) следует, что $\cos \Phi = v \Delta / \left[2\sqrt{(v^2 + m_1^2)(v^2 + m_2^2)} \right]$. Максимальное значение этой функции достигается в точке $v_0 = \sqrt{m_1 m_2}$. Принимая во внимание неравенство, $|\cos \Phi| \leq 1$ приходим к выводу, что существует два режима генерации. В первом случае, когда $|\Delta| \leq \Delta_{cr} = 2(m_1 + m_2)$, значение v может неограниченно расти вдоль z . Это означает, что во всем интервале $0 \leq z \leq L$ происходит перенос энергии от фундаментальных гармоник ко второй гармонике. В случае, когда $|\Delta| > \Delta_{cr}$ областью разрешенных значений v является интервал $0 \leq v \leq v_0$, где

$$v_0 = \sqrt{K - \sqrt{K^2 - 64m_1^2 m_2^2}} / 2\sqrt{2}, \quad K = \Delta^2 - 4(m_1^2 + m_2^2). \quad \text{При этом вдоль образца возникает периоди-}$$

ческий обмен энергией между фундаментальными и второй гармоникой, что приводит к пространственным осцилляциям амплитуд взаимодействующих волн. На рисунке 2 представлены зависимости интенсивности второй гармоники от координаты z . Сплошная кривая соответствует идеальной фазовой синхронизации, в этом случае преобразование энергии волн накачки во вторую гармонику имеет место вдоль всего образца. Штриховая кривая соответствует критическому значению рассогласования фазы. Штрих-пунктирная кривая отвечает случаю $\Delta > \Delta_{cr}$, который соответствует наличию взаимного обмена энергией между волнами накачки и волной второй гармоники. Амплитуда второй гармоники является периодической функцией координаты. Таким образом, в отличие от обычного случая эффективное преобразование частоты в метаматериалах имеет место для интервала фазовых расстройек, что является привлекательным с точки зрения физического эксперимента.

1. A.I. Maimistov, I.R. Gabitov, Nonlinear optical effects in artificial materials, Eur. Phys. J. Special Topics. 147, 265-286 (2007)

2. Zh. A. Kudyshev, A. E. Davletov, I. R. Gabitov, A. I. Maimistov, Effect of phase mismatch on second-harmonic generation in negative-index materials, PHYSICAL REVIEW A 87, 063840 (2013)

3. Ye. S. Mukhametkarimov, Zh. A. Kudyshev, A. E. Davletov, I. R. Gabitov, A. I. Maimistov, M. G. Stepanov, Second harmonic generation in dissipative metamaterials, arXiv:1310.3109 [physics.optics].

4. Popov A.K. and Shalaev V.M., Negative-index metamaterials: Second-harmonic generation, Manley-Rowe relations and parametric amplification // Appl. Phys. B 2006 – Vol. 84 P.131– 137.

СТРУКТУРНЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРИДА КРЕМНИЯ, ОБОГАЩЕННОГО КРЕМНИЕМ

**И.Н. Пархоменко¹, Ф.Ф. Комаров¹, Л.А. Власукова¹,
О.В. Мильчанин¹, И.А. Романов¹, А.К. Тогамбаева², Л.К. Тоганбаева²**

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аморфный нитрид кремния широко применяется в микроэлектронике. Материал характеризуется высокой механической и термической прочностью, инертностью к различным агрессивным средам, эффектом памяти и т.д. В последние годы интенсивно изучаются люминесцентные свойства нитрида кремния, с целью создания излучателя света, совместимого с интегральной кремниевой технологией. Несмотря на большое количество работ, посвященных светоизлучающим свойствам нитрида кремния, природа люминесценции нитрида кремния до сих пор не выяснена. Цель нашей работы – исследовать влияние высокотемпературного отжига на структурные оптические и электрофизические свойства нитрида кремния, обогащенного кремнием.

Нитрид кремния осаждался на подложку Si n-типа методом плазменно-стимулированного газофазного осаждения из смеси моносилана (SiH_4) и аммиака (NH_3) при температуре 300 °С. Толщина пленок измерялась методом эллипсометрии. Образцы дополнительно отжигались в атмосфере азота при температурах 900 °С в печи сопротивления в течение часа. Для анализа распределения атомов Si и N по глубине нитридных слоев использовался метод Резерфордского обратного рассеяния (РОР), структура слоев исследовались методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микроскопе Hitachi H-800 с ускоряющим напряжением 200 кэВ в геометрии “plan-view”. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) возбуждались при комнатной температуре He-Cd лазером с $\lambda_{\text{возб.}}=325$ нм. Дополнительно снимались спектры комбинационного рассеяния света (КРС) на микроРамановском спектрометре Integra Spectra в геометрии обратного рассеяния при $\lambda_{\text{возб.}}=473$ нм. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) снимались на установке Semiconductor/component Test System.

Толщина пленки нитрида кремния составляла 99 нм. Стехиометрический параметр x , рассчитанный из спектров РОР, равен 1.0, что говорит о наличии сверхстехиометрического избыточного кремния в исходной пленки нитрида кремния. В исходных образцах ФЛ не наблюдается. Отжиг приводит к появлению люминесценции в широкой области от УФ– до ближней ИК-области. На рисунке 1а представлен спектр отожженного образца, разложенный гауссианами. Сложная структура спектра ФЛ связана с различными механизмами излучательной рекомбинации в нитриде кремния. Так полоса в оранжевой области (~ 587 нм) может быть связана со свечением от кремниевых кластеров с размерами около 3 нм [1]. Действительно, по данным ПЭМ исходные образцы имеют однородную аморфную структуру, однако отжиг приводит к формированию кремниевых преципитатов (вставка, рисунок 1а). Полосы в сине-зеленой области, возможно, связаны с формированием нестехиометрических дефектов в нитриде кремния, представляющие собой 3-координированный атом кремния с тремя соседними атомами