

0.4;0.5;0.6;0.7;12

Ионно-плазменная обработка монокристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) и оптическое просветление алмазоподобными углеродными пленками

© Н.И. Ключ, В.Б. Лозинский, А.Н. Лукьянов, В.А. Мороженко, Р.К. Савкина,
Ф.Ф. Сизов, А.Б. Смирнов, В.А. Дериглазов

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,
03028 Киев, Украина
e-mail: alex@isp.kiev.ua

(Поступило в Редакцию 7 июля 2011 г.)

Изучено влияние ионно-плазменной обработки монокристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$), которая проводилась перед нанесением просветляющего покрытия — алмазоподобной углеродной пленки $a\text{-C:H:N}$, на оптические свойства получаемой структуры. Обработка проводилась в плазме аргона, азота или водорода. Контроль оптических свойств системы $a\text{-C:H:N/Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ показал, что наиболее эффективной, с точки зрения повышения пропускания структуры, является обработка в плазме аргона. Предложена модель оптической системы, учитывающая формирование переходных слоев после плазменной обработки и влияние типа ионов на их характеристики. Проведен анализ спектров поглощения системы $a\text{-C:H:N/Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, позволивший установить присутствие полос, соответствующих валентным и деформационным колебаниям C—H-связей, а также C—C- и C=O-связям, наличие которых необходимо учитывать при конструировании и синтезе изучаемых оптических покрытий.

Введение

Алмазоподобные углеродные пленки (АПП) являются перспективным материалом для современных микроэлектроники, электроники и оптоэлектроники [1–3]. Высокие механические свойства и трибологические характеристики, возможность изменять параметры (в том числе и оптические) в широких пределах в зависимости от режимов осаждения, химическая инертность даже при толщинах менее 10 nm — все это обуславливает применение АПП при изготовлении магнитных дисков памяти, микро-электромеханических устройств (MEMs), оптических окон, пассивирующих, защитных и просветляющих покрытий солнечных элементов на основе кремния [4] и т.п.

Ранее авторы изучали просветляющую способность пленок $a\text{-C:H:N}$, нанесенных с помощью метода плазмохимического осаждения на монокристаллы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) [5]. Актуальность работы была обусловлена тем, что монокристаллы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ применяются в качестве подложечного материала при создании охлаждаемых приемников инфракрасного (ИК) излучения для спектральных диапазонов 3–5 μm и 8–12 μm на основе эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x \sim 0.2\text{--}0.3$) [6], а также при создании приемников γ -излучения. Иммерсионные линзы из CdZnTe используют для улучшения эксплуатационных параметров неохлаждаемых ИК-фотодетекторов [7]. И в том, и в другом случаях значение имеют оптические свойства многослойной полупроводниковой структуры, которой является ИК-детектор.

В предыдущей работе было обнаружено, что в едином технологическом процессе плазменно-стимулированного

осаждения (Pe-CVD) диэлектрического покрытия на полупроводниковую подложку $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) образуется многослойная система с двумя переходными слоями и оптическим пропусканием $\sim 80\%$ в спектральном диапазоне 3–6 μm . В применяемой технологии перед осаждением диэлектрического покрытия проводится плазмохимическая обработка подложки, которая служит для удаления с обрабатываемой поверхности загрязнений, адсорбированных молекул воды, остатков органики и т.п. Однако известно, что результатом ионно-плазменных обработок может быть нарушение стехиометрии, вплоть до деградации свойств приповерхностного слоя обрабатываемого материала [8–12]. Так, обработка ртутьсодержащих твердых растворов (CdHgTe , MnHgTe , ZnHgTe) плазмой аргона, водорода, а также смесью водорода и метана приводит к формированию инверсного слоя (p - n -перехода), который состоит из двух подслоев, отличающихся электрическими характеристиками [10]. Другой пример — при обработке пластин $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ в плазме кислорода изменение режима (время/мощность) вместо ожидаемого эффекта пассивации приводило к деградации поверхности и изменению сопротивления приповерхностного слоя полупроводника [8].

Целью настоящей работы было изучение влияния ионно-плазменной обработки монокристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$), проводимой перед нанесением просветляющего покрытия — алмазоподобной углеродной пленки, на природу и параметры возникающих переходных слоев и оптические свойства формируемой структуры в целом.

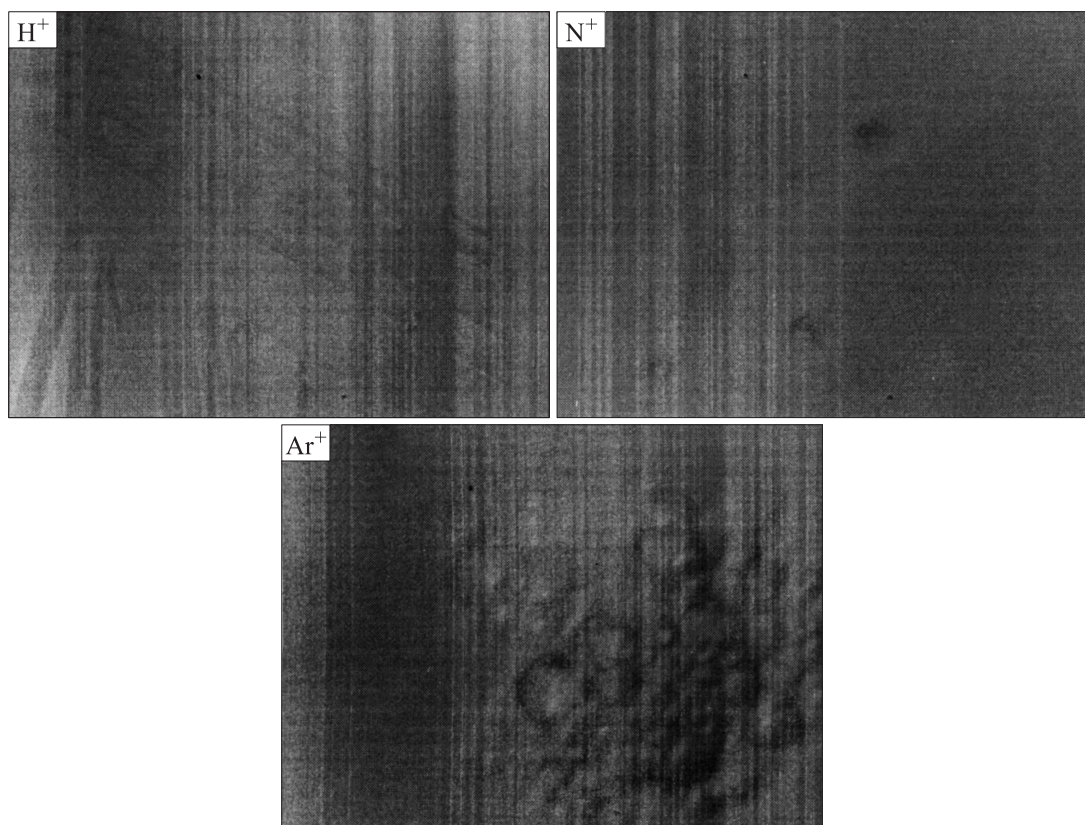


Рис. 1. Оптические фотографии поверхности образцов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) после обработок плазмой H_2 , N_2 и Ar . Оптическое поле (240×200) μm .

1. Эксперимент

Образцы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) размером 10×10 mm и толщиной 1.5 mm были обработаны в плазах Ar , H_2 и N_2 , после чего на них осаждалось $a\text{-C:H:N}$ покрытие. Обработка образцов плазмой осуществлялась непосредственно перед осаждением АПП в едином технологическом процессе аналогично [5]. Время обработки — 5 min при мощности высокочастотного (13.56 MHz) разряда $W = 175$ W. Рабочее давление в камере составляло 25 Pa. Отвод тепла от обрабатываемой пластины за счет водяного охлаждения подложкодержателя обеспечивал комнатную температуру обрабатываемых образцов. Одновременно подвергался обработке контрольный образец кремния. После этого осаждение слоя $a\text{-C:H:N}$ проводилось в течение 40 min при мощности высокочастотного разряда $W = 250$ W и давление в рабочей камере 100 Pa.

Для осаждения АПП использовалась смесь аргона, метана, водорода и азота $\text{Ar}:\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2 = 1:3:5:9$. Содержание азота в газовой смеси составляло 45%, что позволяло уменьшить уровень внутренних механических напряжений в получаемых пленках [13].

Эффективность просветления создаваемой системы $a\text{-C:H:N}/\text{CdZnTe}$ определялась по методу ИК-спектроскопии (фурье-спектрометр Infracum FT-801, разреша-

ющая способность 2 cm^{-1}) по спектрам оптического пропускания. Оптические параметры (коэффициент экстинкции k , показатель преломления n) и толщина нарушенного слоя d монокристаллов CdZnTe в исходном состоянии и после обработки плазмой контролировались с помощью метода эллисометрии на лазерном ($\lambda = 632.8$ nm) фотоэлектрическом компенсационном нуль-эллисометре ЛЭФ 3М-1.

2. Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены микрофотографии поверхности образцов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) после контролируемого воздействия плазмой различных газов, полученные на интерференционном микроскопе МИИ-4. Наибольшее воздействие на поверхность подложки оказывает плазма аргона, о чем свидетельствуют многочисленные вспученные участки (рис. 1, c). Заметное влияние оказывает также плазма водорода (рис. 1, a).

Спектры оптического пропускания образцов $a\text{-C:H:N}/\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$), измеренные после обработки полупроводниковой подложки в плазах Ar^+ , H^+ и N^+ , показаны на рис. 2. Величина пропускания T подложечного материала до обработки в среднем составляет около 55%, в то время как нанесение пленки $a\text{-C:H:N}$ толщиной $h \sim 0.9$ μm приводит

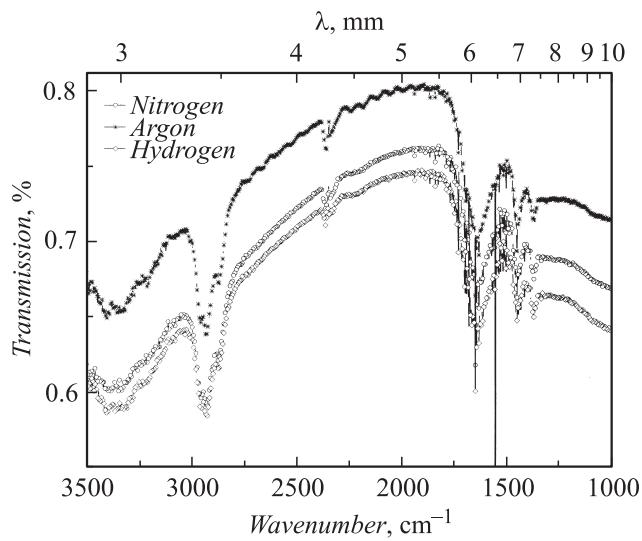


Рис. 2. Спектры пропускания образцов $a-C:H:N/Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$), изготовленных после предварительной обработки полупроводниковой подложки в плазме H_2 , N_2 и Ar . На вставке — схематическое представление оптической системы $a-C:H:N/Cd_{1-x}Zn_xTe$ с двумя переходными слоями при нанесении однослойного АПП.

к увеличению пропускания в среднем до 70%. Область наибольшего просветления всех полученных образцов находится в спектральном диапазоне 3–6 μm , который совпадает с окном прозрачности атмосферы. Максимальное просветление (до 80%), а также осцилляции пропускания в области максимального просветления реализуются для образца, предварительно обработанного в плазме аргона.

Было установлено, что плазменная обработка подложки приводит к образованию нарушенного слоя, толщина которого d определялась по методу эллипсометрии и после обработки плазмой азота и водорода составила величину ~ 10 nm. Для образца, обработанного в плазме аргона, определить параметры приповерхностного слоя не удалось, вероятно, из-за значительного разупорядочения и рассеяния света поверхностью и сильно нарушенным слоем.

Таблица 1. Значения коэффициента экстинкции k , показателя преломления n и толщины нарушенного слоя d одной из типичных пластин $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$) до и после обработки. Для сравнения приведены оптические параметры для $CdTe$ и слоя X (пояснения в тексте). Все данные приведены для $\lambda = 632.8$ nm

Обра- зец	$CdZnTe$, исходный	$CdZnTe$, обработка N_2	$CdZnTe$, обработка H_2	$CdTe$	Слой X , [5]
k	0.2	0.29	0.08	0.35	0.02
n	2.55	3.02	3.2	2.98	3.56–3.87
d , nm	—	8.63	10	—	40–100

Анализ данных, полученных по методу эллипсометрии, позволил также определить оптические параметры нарушенного слоя, которые представлены в табл. 1. Нарушенный слой, образованный в результате обработки плазмой азота, имеет оптические параметры, приближающиеся к параметрам $CdTe$ ($n = 2.98$, $k = 0.35$ при $\lambda = 632.8$ nm [14], см. также табл. 1). Обработка водородом существенно (на порядок величины) уменьшает коэффициент экстинкции (от 0.2 до 0.04) в нарушенном слое исследуемых образцов и повышает коэффициент преломления (от 2.55 до 3.2).

Следует отметить, что по величине эти коэффициенты близки к оптическим коэффициентам одного из слоев (ближайшего к подложке) в многослойной системе, образующейся в процессе нанесения диэлектрического покрытия $a-C:H:N$ на $a-C:H:N/Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$) [5]. Оптические коэффициенты такого слоя X также приведены в табл. 1. Таким образом, можно предположить, что природа образования этого слоя связана именно с ионно-плазменной обработкой перед нанесением на полупроводниковую подложку АПП.

Рассматривая действие неравновесной газовой плазмы тлеющего разряда пониженного давления на поверхность полупроводника, следует помнить, что помимо ионов активно воздействовать на поверхность могут также электроны и вакуумное УФ-излучение, вследствие чего говорят о гетерогенном взаимодействии плазмы с материалом подложки [15]. В результате наблюдают многообразие эффектов, среди которых отметим следующие.

Взаимодействие атомарного водорода с полупроводниками с различным типом межатомных связей приводит к пассивации поверхности. Для $CdZnTe$ взаимодействие происходит по схеме: $CdTe + H_2 = Cd + H_2Te \uparrow$ [16]. В плазме N^+ -возможны процессы азотирования и аморфизации поверхности $CdZnTe$ с образованием химических фаз Zn_3N_2 и Te_3N_4 [17]. Кинетическая энергия тяжелых ионов Ar^+ способствует активационно-каскадному воздействию плазмы аргона на поверхность полупроводниковых кристаллов. Например, для $GaAs$ это активация химических реакций [18], для $CdZnTe$ — конкуренция процессов десорбции–адсорбции с образованием TeO_2 [19], а для $CdHgTe$ — термический разогрев, ускорение диффузии межузельной ртути Hg_0 и даже конверсия типа проводимости $p \rightarrow n$ [20].

Иными словами, наблюдаемые особенности в нарушенном слое изучаемого подложечного материала могут быть вызваны как структурными, так и химическими изменениями при обработке поверхности $CdZnTe$ в неравновесной газовой плазме и, по-видимому, определяются гетерогенными процессами, происходящими на поверхности и в тонком приповерхностном слое полупроводника. Наибольшие изменения поверхности (рис. 1) и осцилляции на спектрах пропускания (рис. 2) наблюдаются только после обработки поверхности $CdZnTe$ в плазме аргона, что может быть предметом дополнительной дискуссии.

Таким образом, в результате осаждения диэлектрического покрытия $a\text{-C:H:N}$ на полупроводниковую подложку $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) образуется просветленная многослойная оптическая система, в которой ближайший к подложке слой является следствием плазменной обработки исходной поверхности в едином вакуумном технологическом процессе. Далее обсудим свойства полученного покрытия.

2.1. Адгезия и когезия

Матрицам аморфного $a\text{-C:H}$ углерода присущи внутренние механические напряжения σ до 2 ГПа и выше [2], что ограничивает толщину осаждаемого покрытия на уровне $h = 0.2 \mu\text{m}$ ($h < 4\gamma E/\sigma^2$, E — модуль Юнга, h — толщина адгезионного материала, σ и γ — внутренние механические напряжения сдвига и отрыва). Существует несколько способов, позволяющих минимизировать внутренние напряжения в осаждаемом покрытии, улучшая тем самым адгезионные свойства $a\text{-C:H}$ пленок и увеличивая h . К ним можно отнести создание ступенчатого рельефа подложки и применение многослойных чередующихся конструкций [1]. Оправданным также считается введение в конфигурацию $a\text{-C:H}$ /подложка промежуточного слоя металла (Al, T, Mo) или полупроводника (Si, Ge) с заведомой адгезией к АПП, которые образуют стабильные карбиды [1]. Кроме этого, улучшать адгезионные свойства АПП предлагают путем предварительной ионной обработки материала подложки ионами Ar^+ . Либо, обрабатывая подложку высокоэнергетическим ионным пучком во время процесса осаждения, индуцируя, таким образом, процесс смешивания химических компонентов подложки и осаждаемого материала [21].

Испытания адгезионных свойств синтезированных нами структур $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$ показали [5], что создаваемые в АПП циклические механические напряжения (частота ~ 7.5 МГц, напряжение до 0.5 МПа) недостаточны для отслаивания „толстой“ пленки ($h = 0.9 \mu\text{m} > 0.2 \mu\text{m}$) от CdZnTe -подложки. Однако удовлетворительная адгезия осаждаемого покрытия наблюдалась только в случае предварительной обработки подложки — последовательными механической и химической полировками.

Авторы полагают, что природа наблюдаемой адгезии просветляющего $a\text{-C:H:N}$ -покрытия к CdZnTe связана с введением в состав пленок азота, который существенно уменьшает внутренние механические напряжения [13], а также с обнаруженной многослойной природой синтезированной конструкции. Отметим также возможность образования карбидов (CdC , ZnC , TeC) и диметилтеллурида $(\text{CH}_3)_2\text{Te}$ на начальном этапе осаждения просветляющего покрытия.

Согласно методике, описанной в работе [22], изучаемые структуры были обработаны в кавитирующей криогенной жидкости на предмет выяснения когезионных свойств осаждаемых АПП. Было обнаружено, что

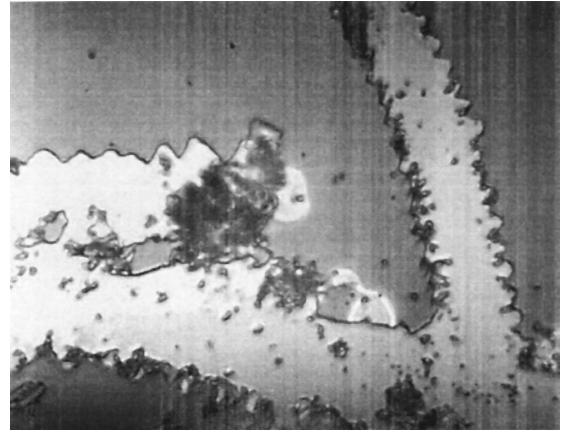


Рис. 3. Оптическая микрофотография поверхности $a\text{-C:H:N}$ после обработки в кавитирующей криогенной жидкости. Оптическое поле $150 \times 180 \mu\text{m}$.

изучаемое покрытие является достаточно устойчивым к обработке в криогенной жидкости длительностью до 10–15 min. Однако увеличение времени воздействия до 30 min и более приводило к появлению вздутий, а затем и областей разрыва на поверхности АПП. Микрофотография типичного характерного повреждения поверхности АПП после обработки в течение 45 min представлена на рис. 3. Следует также отметить локальное изменение цвета пленки в областях воздействия, что может указывать на изменение ее толщины.

2.2. Спектры поглощения системы $a\text{-C:H:N/Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

Известно, что свойства АПП сильно зависят от концентрации водорода и типа электронной гибридизации связи C–H. Например, увеличение количества связей с sp^2 -гибридизацией приводит к снижению износостойкости покрытия [2–3,25]. Кроме того, при применении диэлектрических пленок $a\text{-C:H:N}$ в качестве просветляющих покрытий для ИК-области спектра следует учитывать наличие полос поглощения, характерных для их колебательных спектров. Поэтому в настоящей работе были также проанализированы спектры поглощения системы $a\text{-C:H:N/Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$.

На рис. 4 приведен спектр оптического пропускания пленки $a\text{-C:H:N}$, выращенной из газовой смеси $\text{Ar:CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2$ с содержанием в ней 45% азота, на котором выделены основные характерные для $a\text{-C:H:N}$ -пленок области поглощения. В табл. 2 приведены частоты полос поглощения, наблюдаемые в ИК-спектрах пленок $a\text{-C:H}$, и их идентификации [23,24,26]. Далее был проведен детальный анализ спектра ИК-поглощения синтезированной структуры $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$, пересчитанный из спектра пропускания образца с учетом отражения, толщины получаемого покрытия и эффекта просветления.

Зависимость коэффициента поглощения от волнового числа в области деформационных $1300\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ и валентных $2700\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ колебаний C–H-связей для системы $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$ показана на рис. 5. Анализ проводился путем разложения спектра поглощения на кривые, соответствующие характеристическим частотам поглощения [23].

В осажденном покрытии относительно высока доля CH_3 -групп. Метильные радикалы появляются вследствие диссоциации молекул метана (CH_4) электронным ударом. Наличие CH_2 - и CH -групп объясняется активным удалением связанного водорода с поверхности покрытия в процессе его роста: $CH_4 \leftrightarrow CH_3 + H$; $CH_3 \leftrightarrow CH_2 + H$; $CH_2 + H \leftrightarrow CH + H_2$; $CH + H \leftrightarrow C + H_2$ (* — радикалы, включенные в пленку). Широкая полоса поглощения вблизи 2750 cm^{-1} свидетельствует о наличии в пленке кислорода. В области деформационных колебаний CH -групп и скелетных C–C-, C=C-связей ($1000\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$) проявляются колебания на связях как sp^3 -, так и sp^2 -гибридизированного углерода. Прове-

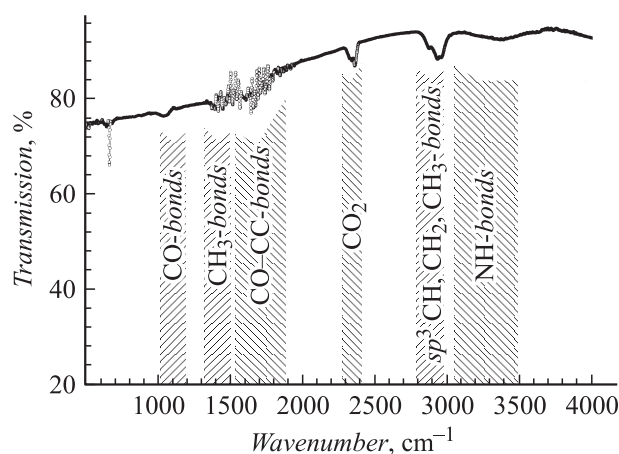


Рис. 4. FTIR-спектр пропускания $a\text{-C:H:N}$ -пленки, выращенной из газовой смеси с содержанием 45% азота.

Таблица 2. Частота и природа колебаний в ИК-спектрах пленок $a\text{-C:H:N}$. Идентификация мод произведена на основе литературных данных [17–19]

Частота cm^{-1}	Тип колебания	Частота, cm^{-1}	Тип колебания
1375	$\delta^s(-CH_3)$ +	2750	–OH +
1450	$\delta^{as}(-CH_3)$ +	2865	$sp^3(CH_3)v^s$ +
1540	$\nu^{as}(C=C)$ +	2902	$sp^3(CH)v^s$ +
1600	$\nu(C-C)$ +	2926	$sp^3(CH_2)v^{as}$ +
1640	(C=C) или (C=O) +	2957	$sp^3(-CH_2)v^s$ +
1700	$\nu(C=O)$ –	2873	$sp^3(-CH_3)v^s$ –

Примечание. δ^s, ν^s — симметричные и δ^{as}, ν^{as} — асимметричные деформационные и валентные колебания соответственно; + — моды, которые наблюдаются в исследованных покрытиях.

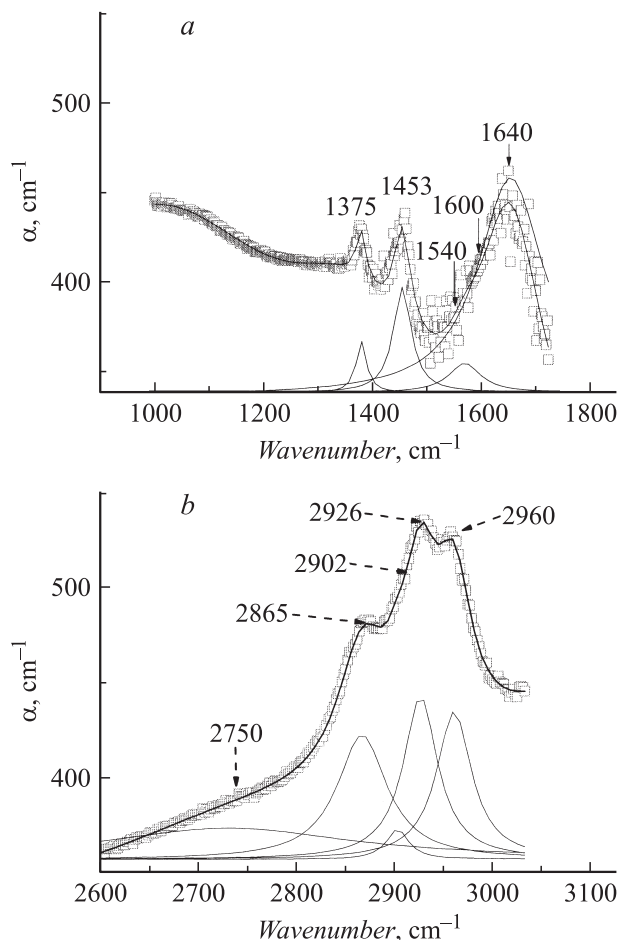


Рис. 5. Спектр поглощения образца $a\text{-C:H:N/Cd}_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$): a — область деформационных колебаний; b — область валентных колебаний.

денный анализ спектров поглощения АПП позволяет говорить о том, что полученная углеродная пленка содержит преимущественно sp^3 -гибридные связи C–H и по такому признаку может быть отнесена к так называемым полимерным $a\text{-C:H}$ или „soft“ $a\text{-C:H}$ пленкам [1].

Заключение

Таким образом, в настоящей работе проведено комплексное изучение просветленных свойств алмазоподобных углеродных пленок $a\text{-C:H:N}$, нанесенных на стандартные подложки для ИК-фотодетекторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ — монокристаллы $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$), и обнаружено, что величина эффекта зависит от рода газа, применяемого в едином вакуумном процессе для плазменной очистки. Область максимального просветления системы $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$ (пропускание достигает 80%) находится в коротковолновом диапазоне спектра $3\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$, совпадающем с окном прозрачности атмосферы, что позволяет повысить эффективность мас-

сизов обратно освещаемых фотодиодов на $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ для спектральной области $3\text{--}5\ \mu\text{m}$ на величину $\sim 50\%$.

Слой на поверхности $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$), возникающий при плазменной обработке полупроводниковой подложки, существенно влияет на эффективность просветления (60–80%) синтезированной конструкции $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$. При этом его поглощающая способность (k) зависит от того, какой газ применялся для плазменной очистки. Установлено, что полученное алмазоподобное покрытие $a\text{-C:H:N}$ обладает удовлетворительными адгезионными и когезионными свойствами. На основе анализа спектров поглощения $a\text{-C:H:N}$ показано, что атомы углерода в полученном алмазоподобном покрытии находятся преимущественно в состоянии sp^3 -гибридизации.

Из анализа приведенных экспериментальных данных следует, что при создании просветляющих покрытий на основе $a\text{-C:H:N}$ -пленок для ИК-области спектра необходимо учитывать оптическое поглощение на связях углерода, которые приходится на окно прозрачности атмосферы $3\text{--}6\ \mu\text{m}$. А именно существенно изменяется пропускание из-за полос поглощения в области валентных колебаний, что соответствует $\approx 3\ \mu\text{m}$, и полос поглощения $1400\text{--}1800\ \text{cm}^{-1}$, соответствующих $5.7\text{--}7\ \mu\text{m}$.

Авторы выражают благодарность А.З. Евменовой за проведение эллипсометрических измерений.

Список литературы

- [1] Krishna B. Misra. Handbook of Performability Engineering. London: Springer-Verlag, 2008. Ch. 59.
- [2] Hugh O. Pierson. Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes. Properties, Processing and Applications. New Jersey: Noyes Publications, 1993. 399 p.
- [3] Donnet C. Tribology of Diamond-Like Carbon Films Fundamentals and Applications. N.Y.: Springer Science + Business Media, LLC. 2008. 664 p.
- [4] Klyui N.I., Litovchenko V.G., Rozhin A.G., Dikusha V.N., Kittler M., Seifert W. // Sol. Energ. Mat. Sol. C. 2002. Vol. 72. P. 597–603.
- [5] Сизов Ф.Ф., Ключ Н.И. и др. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. Вып. 9. С. 32–34.
- [6] Rogalski A. Infrared Photon Detectors. Bellingham. WA: SPIE Optical Engineering Press, 2002. Ch. 3.
- [7] Piotrowski J., Rogalski A. // Infrared Phys. Techn. 2004. Vol. 46. P. 115–131.
- [8] Mescher M.J. // J. Electron. Mater. 1999. Vol. 28. P. 700–704.
- [9] Мынбаев К.Д., Иванов-Омский В.И. // ФТП. 2003. Т. 37. Вып. 10. С. 1153–1178.
- [10] Двуреченский А.В., Ремесник В.Г., Рязанцев И.А., Талинов Н.Х. // ФТП. 1993. Т. 27. С. 168.
- [11] Bhattacharyya D., Chaudhuria S., Pal A.K. // Vacuum. 1995. Vol. 46. N 3. P. 309–313.
- [12] Suk-Ho Hong, Winter J. // Proc. of the 33rd Conference of Plasma Physics. Rome, 2006. Vol. 301. P. O–5.004.
- [13] Titus E., Ali N., Cabral G. et al. // Thin Sol. Films. 2006. Vol. 515. P. 201–206.
- [14] www.filmetrics.com
- [15] Ricard A. Reactive plasmas. Paris: Societe Francaise du Vide, 1996. 180 p.
- [16] Британ В.Б., Пелещак Р.М., Цюцора Д.И., Корбутяк Д.В. // ФХТТ. 2009. Т. 10. № 1. С. 41–44.
- [17] Мельников А.А., Кульчицкий Н.А., Кульчицкий А.Н. // Прикладная физика. 2006. № 2. С. 8–84.
- [18] Бусов В.М., Венус Г.Б., Гусинский Г.М. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. Вып. 2. С. 64–68.
- [19] Кутный В.Е., Кутный Д.В., Рыбка А.В., Веревкин А.А. // Вопросы атомной науки и техники. 2008. № 1. Сер.: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (17). С. 123–128.
- [20] Belas E., Franc J., Toth A., Moravec P., Grill R., Sitter H., Hoshchl P. // Semicond. Sci. Techn. 1996. Vol. 11. N 7. P. 1116–1120.
- [21] Yoshinori F., Kaoru A., Haruyuki Y., Tadaaki S. // Surf. Coat. Tech. 2000. Vol. 128–129. P. 308–313.
- [22] Sавкина Р.К., Смирнов А.В. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. Vol. 43. P. 425 301 (6 p.).
- [23] Бугаев С.П., Коротаев А.Д., Оскомов К.В., Сочугов Н.С. // ЖТФ. 1997. Т. 6. Вып. 8. С. 100–104.
- [24] Кошица Е.А., Вангонен А.И. // ФТП. 2005. Т. 39. № 5. С. 616–622.
- [25] Robertson J. // Diam. Relat. Mater. 1995. Vol. 4. P. 297–301.
- [26] Yadav L.D.S. Organic spectroscopy. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2005. Ch. 3.