

Особенности фотоэлектрических и оптических свойств пленок аморфного гидрогенизированного кремния, полученных плазмохимическим осаждением из смеси моносилана с водородом

© А.Г. Казанский, Е.И. Теруков*[¶], П.А. Форш, М.В. Хенкин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (физический факультет),
119991 Москва, Россия

* Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 12 октября 2010 г. Принята к печати 22 октября 2010 г.)

Исследованы фотоэлектрические и оптические свойства пленок аморфного гидрогенизированного кремния, полученных плазмохимическим осаждением из смеси моносилана с водородом при относительной доли водорода в газовой смеси, соответствующей условиям начала формирования нанокристаллической фазы в структуре получаемых пленок. Получен необычный для пленок аморфного гидрогенизированного кремния характер поведения фотопроводимости и спектральной зависимости коэффициента поглощения. Температурные зависимости фотопроводимости исследованных пленок зависели от энергии падающих квантов. Для энергии квантов 1.3 эВ наблюдался эффект температурного гашения фотопроводимости. Длительное освещение исследованных пленок приводило к некоторому уменьшению коэффициента поглощения в области энергий квантов 1.2–1.5 эВ. Полученные результаты объясняются возможным присутствием нанокристаллов кремния в структуре исследованных пленок и их влиянием на фотоэлектрические и оптические свойства.

1. Введение

Пленки аморфного ($a\text{-Si:H}$) и нанокристаллического ($nc\text{-Si:H}$) гидрогенизированного кремния широко используются при создании различных тонкопленочных оптоэлектронных и электронных приборов. Основным методом получения пленок $a\text{-Si:H}$ является разложение в тлеющем разряде моносилана (SiH_4) или его смеси с инертными газами. Для получения пленок $nc\text{-Si:H}$ используют смесь моносилана с водородом. В этом случае получаемые пленки имеют двухфазную структуру, состоящую из аморфной и нанокристаллической фаз, причем их соотношение зависит от относительной объемной доли водорода в данной смеси ($R_H = [\text{H}_2]/[\text{SiH}_4]$). Для пленок, полученных при температуре подложки $T_s = 220^\circ\text{C}$, увеличение R_H от 10 до 40 приводит к увеличению объемной доли нанокристаллической фазы в структуре пленок от 10 до 80% [1]. При этом наблюдается существенное (более чем на 5 порядков) увеличение проводимости пленок. Интервал R_H , в котором наблюдается изменение структуры пленок гидрогенизированного кремния, смещается в область больших значений R_H при уменьшении температуры подложки [2]. Информация о структуре пленок гидрогенизированного кремния получается из анализа спектра рамановского рассеяния, в котором для двухфазных пленок наблюдаются два характерных максимума — при 480 и 520 см^{-1} . Максимум, наблюдаемый при 480 см^{-1} , соответствует аморфной фазе, в то время как максимум при 520 см^{-1} соответствует нанокристаллической фазе [3]. Использование спектров рамановского рассеяния позволяет выявить наличие кристаллической фазы, если ее доля в структуре

пленок составляет единицы процентов [4]. К настоящему времени электрические, фотоэлектрические и оптические свойства пленок гидрогенизированного кремния с двухфазной структурой в области перехода от аморфной к нанокристаллической структуре исследованы достаточно подробно. Свойства пленок гидрогенизированного кремния, полученных в условиях, соответствующих самому началу формирования нанокристаллической фазы ($R_H < 10$), исследованы в значительно меньшей степени. В то же время результаты исследований, проведенных с использованием просвечивающей электронной микроскопии, и анализ спектров рамановского рассеяния [5,6] в данных пленках указывают на возникновение в них областей нанометровых размеров, представляющих собой нанокристаллы кремния. На основании сравнительных исследований зависимости спектров фотолюминесценции от энергии возбуждения пленок пористого кремния и пленок $a\text{-Si:H}$, полученных при $R_H = 10$, в работе [7] также сделан вывод о том, что наблюдаемая в данных пленках фотолюминесценция с максимумом при энергии кванта в области 1.2–1.38 эВ связана с излучательной рекомбинацией в кремниевых нанокристаллах, присутствующих в структуре $a\text{-Si:H}$. Возможность фотолюминесценции кремниевых нанокластеров в $a\text{-Si:H}$ рассматривалась в работе [8]. Особенности спектральных зависимостей коэффициента поглощения в области энергий квантов 1.1–1.3 эВ пленок $a\text{-Si:H}$, полученных при малых R_H , в работе [9] также связывались с присутствием нанокристаллов в структуре $a\text{-Si:H}$.

Наличие в пленках $a\text{-Si:H}$ малой доли кремниевых нанокристаллов, не регистрируемых методом рамановской спектроскопии, может влиять на электрические и фотоэлектрические свойства таких пленок. Поэто-

[¶] E-mail: Eug.Terukov@mail.ioffe.ru

му представляет интерес исследовать оптические и фотоэлектрические свойства пленок аморфного кремния, полученных в условиях, соответствующих началу формирования нанокристаллической фазы в структуре пленок $a\text{-Si:H}$.

2. Исследованные образцы и методика измерений

Пленки толщиной 1 мкм были получены в Институте полупроводников КАН (г. Пекин) при разложении смеси моносилана (SiH_4) и водорода (H_2) в плазме высокочастотного тлеющего разряда (частота $f = 60$ МГц) при температуре подложки (кварц) 170°C . Мощность разряда и давление газов в реакционной камере составляли соответственно 5 Вт и 133 Па. Объемное отношение газов в реакционной камере $R_{\text{H}} = [\text{H}_2]/[\text{SiH}_4]$ изменялось от 3 до 10. Информация о структуре пленок получалась из анализа спектров рамановского рассеяния, измеренных с помощью микро-рамановского спектрометра при возбуждении излучением с длиной волны 488 нм. Спектральная зависимость коэффициента поглощения (α_{CRM}) в области края поглощения измерялась методом постоянного фототока (constant photocurrent method — СРМ) [10], в котором регистрируются оптические переходы, приводящие к возникновению неравновесных носителей заряда. Для проведения электрических и фотоэлектрических измерений на поверхность пленок напылялись контакты из алюминия. Расстояние между контактами составляло 0.5 мм. На пленки подавалось напряжение 5 В, при котором вольт-амперная характеристика была линейной. Ток через образец регистрировался с помощью пикоамперметра Keithley 487. Измерения проводимости, фотопроводимости и спектральных зависимостей коэффициента поглощения проводились в криостате в вакууме при остаточном давлении 10^{-3} Па после отжига пленок при температуре 170°C в течение 15 мин.

3. Результаты измерений и их обсуждение

Рамановские спектры всех исследованных образцов имели вид, характерный для пленок $a\text{-Si:H}$. В качестве примера на рис. 1 представлены спектры рамановского рассеяния, полученные для пленок с $R_{\text{H}} = 3$ и 10 (в дальнейшем $R_{\text{H}3}$ и $R_{\text{H}10}$, обозначения других образцов аналогичны). Как видно, в рамановских спектрах наблюдается ярко выраженный максимум вблизи $\Delta\nu = 480\text{ cm}^{-1}$, соответствующий поперечной оптической (ТО) фоновой моде, и максимум вблизи $\Delta\nu = 150\text{ cm}^{-1}$, соответствующий поперечной акустической (ТА) моде в аморфной структуре [10]. Из рисунка видно, что увеличение R_{H} приводит к некоторому смещению положения ТО-максимума в область больших частот. Аналогичное смещение (от 478 до 486 cm^{-1}) ТО-максимума с ростом

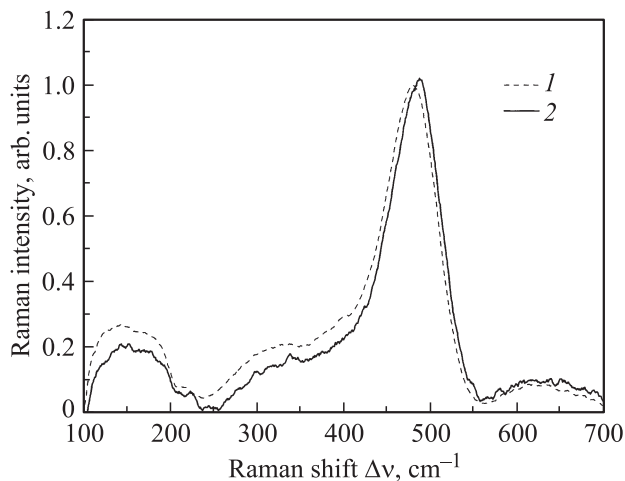


Рис. 1. Рамановские спектры пленок $R_{\text{H}3}$ (1) и $R_{\text{H}10}$ (2).

R_{H} для пленок $a\text{-Si:H}$, полученных в условиях, близких к условиям начала формирования нанокристаллической фазы, наблюдалось в работах [5,6]. Согласно [5,6], малая доля нанокристаллической фазы в структуре пленок не приводит к возникновению в спектре рамановского рассеяния заметного максимума при $\Delta\nu = 520\text{ cm}^{-1}$. В то же время, по мнению авторов [5], смещение ТО-максимума в область высоких частот свидетельствует о возникновении областей нанометровых размеров, сформированных из нанокристаллов кремния, которые регистрируются в структуре данных пленок $a\text{-Si:H}$ при использовании просвечивающей электронной микроскопии [5]. Отметим также, что, как видно из рис. 1, отношение интенсивности максимума при $\Delta\nu = 150\text{ cm}^{-1}$, соответствующего ТА-моде, к интенсивности максимума, соответствующего ТО-моде, для пленки $R_{\text{H}10}$ меньше, чем для пленки $R_{\text{H}3}$. По мнению авторов [11], подобное изменение отношения интенсивностей фоновых мод свидетельствует об уменьшении беспорядка в структуре пленки.

При комнатной температуре ($T = 300\text{ K}$) исследованные пленки имели значения темновой проводимости $\sigma_d = 3.5 \cdot 10^{-11} - 5 \cdot 10^{-10}\text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. При этом характер зависимостей $\sigma_d(T)$ в области комнатной температуры был близок к экспоненциальному с энергией активации $E_a = 0.86 - 0.90\text{ эВ}$.

Характер температурных зависимостей проводимости исследованных пленок при их освещении (σ_{ph}) зависел от энергии возбуждающего кванта. В качестве примера на рис. 2 представлены результаты, полученные для образцов $R_{\text{H}3}$ и $R_{\text{H}9}$ при возбуждении квантами света с энергиями $h\nu = 1.0, 1.3$ и 1.8 эВ . Измерения проводились при интенсивностях света, обеспечивающих для данного образца в области низких температур близкие значения σ_{ph} и соответственно близкие положения квазиуровня Ферми при разных значениях $h\nu$. Как видно из рисунка, при $h\nu = 1.3\text{ эВ}$ наблюдается температурное гашение фотопроводимости, в то время как при $h\nu = 1.0$

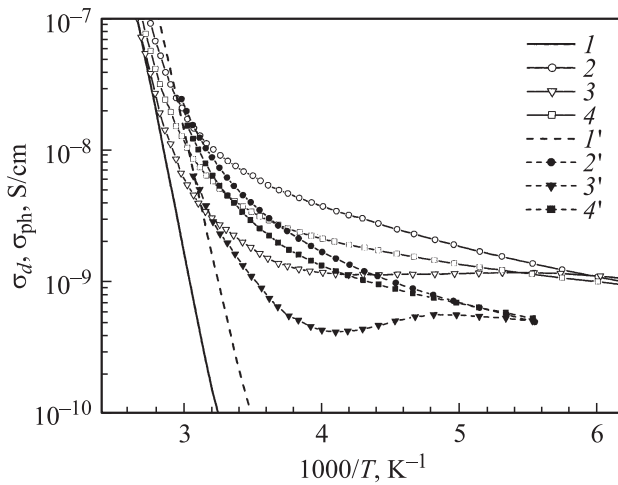


Рис. 2. Температурные зависимости темновой проводимости σ_d (1, 1') и проводимости пленок при их освещении σ_{ph} (2–4, 2'–4') для пленок R_{H3} (1–4) и R_{H9} (1'–4'). Энергии квантов, эВ: (2, 2') — 1.0, (3, 3') — 1.3, 4, 4' — 1.8.

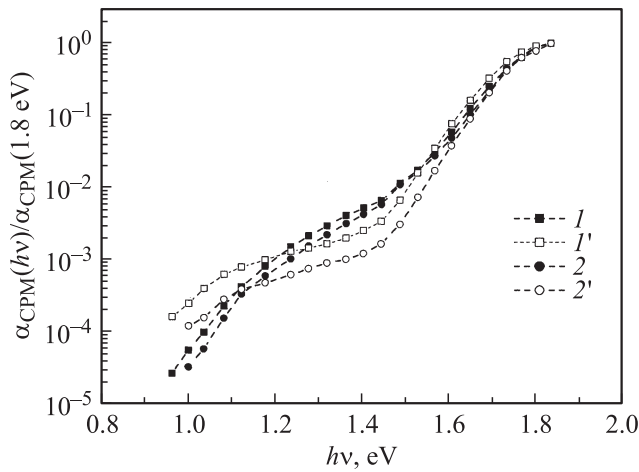


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в относительных единицах $\alpha_{CPM}(hv)/\alpha_{CPM}(1.8 \text{ эВ})$ для пленок R_{H5} (1, 1') и R_{H10} (2, 2') в отожженном состоянии (1, 2) и после их освещения в течение 60 мин с энергией кванта 1.8 эВ и интенсивностью $2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$ (1', 2').

и 1.8 эВ температурного гашения фотопроводимости не происходит. Эффект температурного гашения возрастает с увеличением значения R_H . Заметим, что энергия кванта, при которой наблюдается температурное гашение фотопроводимости, больше ширины запрещенной зоны кристаллического кремния и меньше ширины щели подвижности аморфного кремния. Аналогичные результаты были получены для других исследованных образцов.

На рис. 3 представлены спектральные зависимости коэффициента поглощения α_{CPM} , измеренные методом СРМ, нормированные на коэффициент поглощения при $h\nu = 1.8 \text{ эВ}$, для образцов R_{H5} и R_{H10} до и после воздействия на них при комнатной температуре в течение 60 мин монохроматическим излучением с энергией

кванта 1.8 эВ и интенсивностью $\sim 2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$. Как видно, спектральные зависимости α_{CPM} для исследованных образцов в отожженном состоянии близки друг к другу. При этом форма спектральных зависимостей α_{CPM} характерна для спектральных зависимостей α_{CPM} $a\text{-Si} : \text{H}$, а именно наблюдаются „плечо“ поглощения при $h\nu < 1.4 \text{ эВ}$ и экспоненциальный рост при $h\nu > 1.4 \text{ эВ}$. Поглощение при $h\nu < 1.4 \text{ эВ}$ в спектральных зависимостях α_{CPM} пленок $a\text{-Si} : \text{H}$ обычно связывают с состояниями дефектов типа оборванных связей в данном материале. Его характерной особенностью является увеличение после длительного воздействия на пленки $a\text{-Si} : \text{H}$ межзонным светом, приводящим к увеличению концентрации оборванных связей (эффект Стеблера–Вронского [12]). Заметим, что межзонное поглощение при этом не изменяется. Для исследованных пленок мы наблюдали особенности изменения спектральных зависимостей α_{CPM} после освещения пленок. Как видно, в исследованных пленках освещение приводит к некоторому уменьшению α_{CPM} в области энергий квантов 1.2–1.5 эВ. Отжиг при температуре 170°C восстанавливает исходные спектральные зависимости. Влияние времени и интенсивности освещения на спектральную зависимость α_{CPM} пленки R_{H10} показано на рис. 4. Как видно, кратковременное воздействие на пленку (до 5 мин) излучением с энергией кванта 1.8 эВ и малой интенсивностью ($2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$) приводит к уменьшению относительного поглощения, измеренного методом СРМ, в области энергий квантов 1.2–1.5 эВ. При увеличении времени освещения наблюдается увеличение поглощения в области $h\nu < 1.2 \text{ эВ}$. Отметим также, что крутизна экспоненциального участка изменения

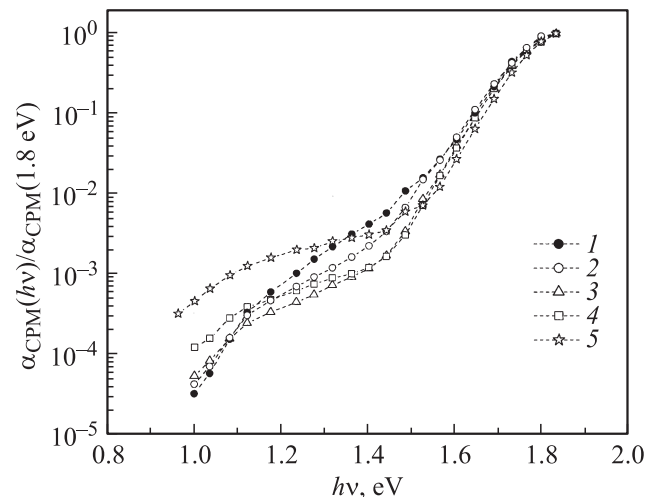


Рис. 4. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в относительных единицах $\alpha_{CPM}(hv)/\alpha_{CPM}(1.8 \text{ эВ})$ для пленки R_{H10} в отожженном состоянии (1) и после освещения с $h\nu = 1.8 \text{ эВ}$ и интенсивностью $2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$ (2–4). Время освещения, мин: 2 — 1, 3 — 5, 4 — 60. 5 — после освещения белым светом лампы накаливания с интенсивностью $40 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$ в течение 80 мин.

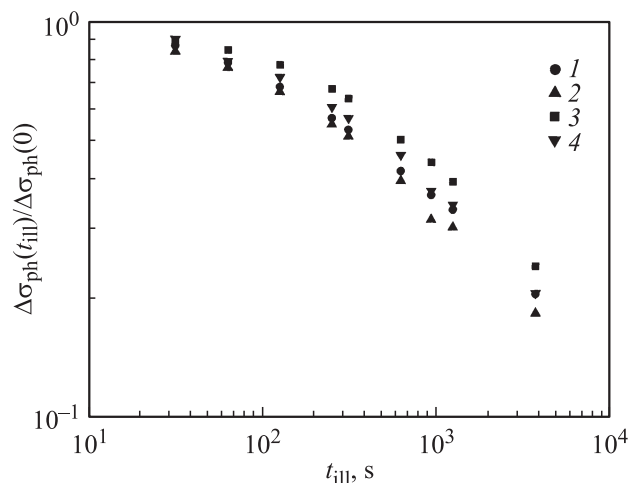


Рис. 5. Зависимости относительного изменения фотопроводимости исследованных пленок $\Delta\sigma_{ph}$ при комнатной температуре от времени освещения t_{ill} . Образцы: 1 — R_{H3} , 2 — R_{H5} , 3 — R_{H9} , 4 — R_{H10} .

$\alpha_{CRM}(h\nu)$ возрастает после освещения пленки. Из рис. 4 также видно, что длительное воздействие на пленку, в течение 80 мин, белым светом лампы накаливания с большой интенсивностью ($40 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$) приводит к увеличению α_{CRM} в области $h\nu < 1.4 \text{ эВ}$.

Рассмотрим полученные результаты. Проведенные нами измерения спектральных зависимостей α_{CRM} в условиях модулированного возбуждения (АС-метод) не обнаружили существенного их отличия от зависимостей α_{CRM} , полученных при использованном в нашей работе стационарном возбуждении (ДС-метод). Это указывает на отсутствие влияния на измеренные спектральные зависимости α_{CRM} изменения времени жизни неравновесных носителей заряда с энергией возбуждения [13]. Поэтому наблюдаемое в исследованных образцах уменьшение поглощения в области 1.2–1.5 эВ после освещения пленок может быть связано со следующими причинами: а) уменьшением в щели подвижности плотности электронных состояний, определяющих поглощение в данной области спектра, б) уменьшением заполнения носителями заряда данных состояний, в) уменьшением вклада оптических переходов из данных состояний в фотопроводимость и соответственно в поглощение, регистрируемое методом СРМ. При этом основным является вопрос: какие состояния дают вклад в поглощение при $h\nu = 1.2\text{--}1.4 \text{ эВ}$ в исследованных образцах? Как было отмечено выше, в большинстве работ, посвященных измерению спектральных зависимостей коэффициента поглощения в пленках $a\text{-Si:H}$, считается, что основной вклад в поглощение в данной области энергий квантов дают состояния оборванных связей. В то же время, по нашему мнению, наблюдаемое после освещения уменьшение относительного поглощения в области 1.2–1.5 эВ в наших пленках не связано с изменением плотности электронных состояний, соответствующих дефектам

типа оборванных связей. Данные дефекты являются основными центрами рекомбинации неравновесных носителей заряда в $a\text{-Si:H}$. На рис. 5 для исследованных образцов показано влияние времени освещения (t_{ill}) при комнатной температуре на их фотопроводимость $\Delta\sigma_{ph} = (\sigma_{ph} - \sigma_d)$ в относительных единицах. Измерение фотопроводимости и освещение проводились при $h\nu = 1.8 \text{ эВ}$ и интенсивности $2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$. Наблюдается монотонное уменьшение фотопроводимости с временем освещения. Это указывает на монотонное увеличение концентрации оборванных связей и соответствующих им состояний в щели подвижности. В работах [13,14] высказывалось предположение, что вклад в спектральную зависимость α_{CRM} в пленках $a\text{-Si:H}$ в области энергий квантов 1.2–1.5 эВ могут давать оптические переходы электронов из валентной зоны на состояния, расположенные выше уровня Ферми в щели подвижности данного материала, с последующей их термической генерацией в зону проводимости. В то же время авторы [7], исследуя спектральные зависимости α_{CRM} в пленках $a\text{-Si:H}$, полученных в условиях, близкой к условиям начала формирования нанокристаллической фазы, предположили, что поглощение в данных пленках в области энергий квантов 1.1–1.3 эВ связано с поглощением в кремниевых нанокристаллах, присутствующих в них. Действительно, поскольку в области энергий квантов 1.2–1.4 эВ коэффициент поглощения в кристаллическом кремнии более чем на 2 порядка превышает коэффициент поглощения в $a\text{-Si:H}$ [15], наличие малой концентрации нанокристаллов в пленках $a\text{-Si:H}$ может привести к заметному вкладу оптических переходов в них в измеряемую спектральную зависимость коэффициента поглощения в данной области энергий квантов. Оптические переходы в нанокристаллах, присутствующих в $a\text{-Si:H}$, могут быть зарегистрированы методом СРМ, если они приводят к возникновению неравновесных носителей заряда. Согласно результатам исследований границы раздела $c\text{-Si}/a\text{-Si:H}$, проведенным в работе [16], для данной гетероструктуры разрывы зоны проводимости и валентной зоны составляют соответственно $\Delta E_C = (0.14 \pm 0.10) \text{ эВ}$ и $\Delta E_V = (0.46 \pm 0.05) \text{ эВ}$, т.е. запрещенная зона кристаллического кремния $c\text{-Si}$ смещена вверх по энергии относительно середины щели подвижности $a\text{-Si:H}$. Если данное соотношение выполняется на границе кремниевого нанокристалла с аморфной матрицей, то при $h\nu > 1.2 \text{ эВ}$ возможно оптическое возбуждение электронов в кремниевых нанокристаллах с их последующим переходом в зону проводимости $a\text{-Si:H}$ и вкладом в фотопроводимость. Если предположить, что в исследованной пленке R_{H10} в отожженном состоянии вклад в поглощение, измеренное методом СРМ, в области $h\nu = 1.2\text{--}1.4 \text{ эВ}$ дают нанокристаллы кремния, то наблюдаемое уменьшение этого поглощения после кратковременного воздействия на пленку светом малой интенсивности может быть связано с уменьшением вероятности перехода возбужденных в нанокристаллах электронов в зону проводимости $a\text{-Si:H}$ и уменьшением

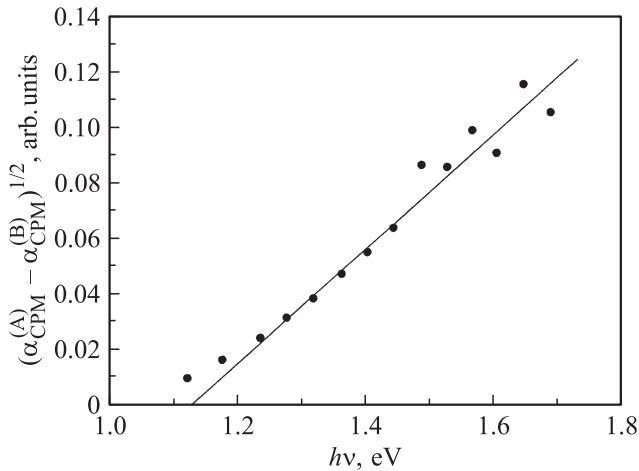


Рис. 6. Спектральная зависимость $(\alpha_{\text{CPM}}^{(A)} - \alpha_{\text{CPM}}^{(B)})^{1/2}$, полученная для образца $R_{\text{H}10}$ в случае его освещения в течение 5 мин светом с энергией кванта 1.8 эВ и интенсивностью $2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$.

их вклада в поглощение, измеряемое методом СРМ. Это уменьшение может быть вызвано как увеличением ΔE_C , так и увеличением возможного энергетического барьера на границе раздела нанокристаллов с аморфной матрицей в результате фотоиндуцированного увеличения концентрации дефектов типа оборванных связей на границе. Таким образом, разница спектральных зависимостей α_{CPM} до, $\alpha_{\text{CPM}}^{(A)}$ и после, $\alpha_{\text{CPM}}^{(B)}$, освещения пленки должна отражать спектральную зависимость коэффициента поглощения в нанокристаллах кремния. Высказанное предположение согласуется с представленной на рис. 6 спектральной зависимостью $(\alpha_{\text{CPM}}^{(A)} - \alpha_{\text{CPM}}^{(B)})^{1/2}$, полученной для образца $R_{\text{H}10}$ в случае его освещения в течение 5 мин с энергией кванта 1.8 эВ и интенсивностью $2 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$. Как видно, экстраполяция данной зависимости к нулю дает значение энергии, близкое к ширине запрещенной зоны $c\text{-Si}$: 1.12 эВ.

Наблюдаемое увеличение α_{CPM} в области $h\nu < 1.2$ эВ в случае длительного воздействия на пленки светом малой интенсивности и в области $h\nu < 1.4$ эВ в случае длительного воздействия на пленку светом большой интенсивности (рис. 4), по-видимому, связано с фотоиндуцированным увеличением концентрации оборванных связей и увеличением их вклада в измеряемое поглощение в данной области энергий квантов.

Возможное присутствие кремниевых нанокристаллов в исследованных образцах $a\text{-Si}$:H может также объяснить наблюдаемое температурное гашение фотопроводимости при возбуждении исследованных пленок излучением с энергией квантов 1.3 эВ. Считается общепринятым, что рекомбинация неравновесных носителей заряда в $a\text{-Si}$:H происходит через состояния оборванных связей. В то же время большее значение ΔE_V по сравнению с ΔE_C приводит к тому, что возбужденные при низкой температуре в кремниевых нанокристаллах

дырки не могут перейти в валентную зону $a\text{-Si}$:H и принимать участие в процессе рекомбинации с электронами, возбужденными в зону проводимости $a\text{-Si}$:H. С ростом температуры вероятность термического выброса в $a\text{-Si}$:H фотогенерированных в нанокристаллах дырок должна возрасти. В этом случае должна увеличиваться вероятность их рекомбинации с электронами и соответственно должны уменьшаться время жизни электронов и измеряемая фотопроводимость.

4. Заключение

Таким образом, проведенные исследования фотопроводимости и фотоиндуцированного изменения спектральной зависимости коэффициента поглощения в пленках $a\text{-Si}$:H, полученных в условиях, близких к условиям формирования в них нанокристаллической фазы, указывают на возможность присутствия в этих пленках нанокристаллов кремния, которые не регистрируются методом рамановской спектроскопии, но могут влиять на оптические и фотоэлектрические свойства данных пленок.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность доктору Х. Зенг за предоставление для исследований пленок аморфного гидрогенизированного кремния и А.А. Хомича за измерения спектров рамановского рассеяния.

Работа проведена при поддержке грантов РФФИ № 07-08-92163-НЦНИ_a и 09-07-90364-Ю-Осет_a.

Список литературы

- [1] A.G. Kazanskii, G. Kong, X. Zeng, H. Hao, F. Liu. *J. Non-Cryst. Sol.*, **354**, 2282 (2008).
- [2] P. Gogoi, H.S. Jha, D. Deva, P. Agarwal. *Phys. Status Solidi C*, **7**, 592 (2010).
- [3] M. Ledinsky, L. Fekete, J. Stuchlik, T. Mates, A. Fejfar, J. Kocka. *J. Non-Cryst. Sol.*, **352**, 1209 (2006).
- [4] S. Reynolds, R. Carius, F. Finger, V. Smirnov. *Thin Sol. Films*, **517**, 6392 (2009).
- [5] D.V. Tsu, B.S. Chao, S.R. Ovshinsky, S.J. Jones, J. Yang, S. Guha, R. Tsu. *Phys. Rev. B*, **63**, 125 338 (2001).
- [6] S. Muthamann, F. Kohler, R. Carius, A. Gordijn. *Phys. Status Solidi A*, **207**, 544 (2010).
- [7] K. Murayama, K. Monji, H. Deki. *Phys. Status Solidi C*, **7**, 674 (2010).
- [8] Ye.S. Shcherbyna, T.V. Torchynska. *Thin Sol. Films*, **518**, S204 (2010).
- [9] D. Han, G. Yue, J.D. Lorentzen, J. Lin, H. Habuchi, Qi Wang. *J. Appl. Phys.*, **87**, 1882 (2000).
- [10] N.M. Liao, W. Li, Y.D. Jiang, Y.J. Kuang, K.C. Qi, Z.M. Wu, S.B. Li. *Appl. Phys. A*, **91**, 349 (2008).
- [11] S. Gupta, R.S. Kaijar, G. Morell, S.Z. Weisz. *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 2803 (1999).
- [12] D.L. Staebler, C.R. Wronski. *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 292 (1977).
- [13] C. Main, S. Reynolds, I. Zrinscak, A. Merazga. *J. Non-Cryst. Sol.*, **338–340**, 338 (2004).

- [14] R. Platz, R. Bruggemann, G.H. Bauer. *J. Non-Cryst. Sol.*, **164–166**, 355 (1993).
- [15] J. Meier, S. Dubail, J. Cuperus, U. Kroll, R. Platz, P. Torres, J.A. Anna Selvan, P. Pernet, N. Beck, N. Pellaton Vaucher, Ch. Hof, D. Fischer, H. Keppner, A. Shah. *J. Non-Cryst. Sol.*, **227–230**, 1250 (1998).
- [16] M. Schmidt, L. Korte, A. Laades, R. Stangl, Ch. Schubert, H. Angermann, E. Conrad, K.V. Maidel. *Thin Sol. Films*, **515**, 7475 (2007).

Редактор Л.В. Шаронова

Peculiarities of photoelectrical and optical properties of amorphous hydrogenated silicon films, prepared by plasma chemical deposition from monosilane–hydrogen mixture

A.G. Kazanskii, E.I. Terukov, P.A. Forsh, M.V. Khenkin*

M.V. Lomonosov Moscow State University
(Department of Physics),
119991 Moscow, Russia

* Ioffe Physicotechnical Institute
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract Photoelectrical and optical properties of amorphous hydrogenated silicon films prepared by plasma enhanced chemical vapour deposition from mixture of monosilane and hydrogen have been investigated. The used concentrations of hydrogen in the mixture corresponded to conditions that resulted in the start of nanocrystalline phase formation in amorphous silicon film structure. The films investigated demonstrated photoelectrical and optical properties which were unusual for amorphous hydrogenated silicon films. Temperature dependence of photoconductivity depended on quantum energy of the light. Thermal quenching of photoconductivity was observed for 1.3 eV. Light soaking of the films resulted in decrease of absorption coefficient in the energy region of 1.2–1.5 eV. The results obtained can be explained by presence of silicon nanocrystals in the film structure and their influence on photoelectrical and optical properties.