



**Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005"**  
**International Conference "Fizika-2005"**  
**Международная Конференция "Fizika-2005"**

7 - 9  
iyun  
June 2005  
Июнь

səhifə  
№95 page 367-369  
стр.

**Bakı, Azərbaycan**

**Baku, Azerbaijan**

**Баку, Азербайджан**

**ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ АМОРФНЫХ  
ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ a-C:H/a-Si:H**

**БАБАЕВ А.А., СУЛТАНОВ С.Б., АСХАБОВ А.М., ХОХЛАЧЕВ П.П.**

*Институт физики Дагестанского научного центра Российской академии наук,  
Россия, Махачкала, ул. Ярагского, 94  
367003, e-mail: [analit@dinet.ru](mailto:analit@dinet.ru), [sult3@dagestan.ru](mailto:sult3@dagestan.ru), тел.: (8722)626664*

Исследованы край поглощения, спектр фотолюминесценции (4.2-900 К) в пленках аморфного гидрированного алмазоподобного углерода (a-C:H). Впервые получены многослойные низкоразмерные структуры a-C:H/a-Si:H, где в качестве барьера использовался a-C:H с  $E_g=4.5$  эВ. В a-Si:H толщиной  $d<100$  Å обнаружены квантовые размерные эффекты. Исследованные фотолюминесценция, край поглощения в a-Si:H указывают на существование резкой границы раздела в структурах a-C:H/a-Si:H, а носители в a-Si:H находятся в режиме квантования.

Интерес к аморфным гидрированным алмазоподобным пленкам a-C:H обусловлен их уникальными физическими и физико-химическими свойствами. Высокая прозрачность, большая микротвердость позволяют использовать эти материалы в качестве защитных и антиотражающих покрытий в опто- и микроэлектронике.

Физические и физико-химические свойства a-C:H зависят от метода получения пленок и от технологических параметров осаждения: времени пребывания частиц в зоне осаждения, температуры подложки, состава газовой смеси и т.д. Важно вырастить пленки a-C:H по структуре близкой к алмазу и исследовать состояния их дефектов. Особый интерес представляют пленки a-C:H, полученные плазмохимическим осаждением при разложении газовых смесей в плазме высокочастотного (ВЧ)-разряда, поскольку этот метод является преимущественным для выращивания пленок аморфного гидрированного кремния (a-Si:H) и изготовления приборов на их основе.

Пленки a-C:H получены плазмохимическим осаждением при разложении газовых смесей  $10\%CH_4+90\%Ar$  в плазме ВЧ-разряда емкостного типа на кварцевые и кремниевые подложки (температура подложки  $T_s=493$  К). На структуру и электронные свойства пленок a-C:H влияют параметры ВЧ-разряда, такие как отношения напряженности электрического поля к давлению газовой смеси ( $E/p$ ) в зоне осаждения, которые в эксперименте изменялись от 63 В/м-Па до 306 В/м-Па [1]. Полученные пленки имели толщину 0.2-1 мкм и

характеризуются проводимостью  $10^{-14}-10^{-17}$  Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$  при  $T=293$ К. Толщина пленок определялась по методике Бродского (по спектрам пропускания), так и с помощью эллипсометра ЛЭФ-2 на длине волны  $\lambda=0.6328$  мкм по специально рассчитанным номограммам. Исследованы край оптического поглощения, спектры фотолюминесценции (ФЛ) и спектры ее возбуждения (СВЛ). В качестве источников возбуждения использовались лампы ДКСЛ-1000, КГМ-250. СВЛ записывались в максимуме спектра ФЛ.

По спектрам пропускания определяли коэффициент поглощения и оптическую ширину запрещенной зоны по способу предложенному Тауцем, путем линейной экстраполяции зависимости  $(\alpha hv)^{1/2}$  от  $hv$  до значения  $\alpha=0$ . Оптическая ширина запрещенной зоны и наклон Тауца уменьшается от 3 до 4.5 эВ с увеличением значения  $E/p$ .

Спектр ФЛ представляет собой широкую полосу, которая смещается в область меньших энергий от  $hv_{max} \cong 2.9$  эВ до  $hv_{max} \cong 2.05$  эВ, а ее полуширина увеличивается от 0.61 эВ до 0.8 эВ при росте соотношения  $E/p$  (см. рис.1).

Отметим, что во всех исследуемых пленках высокоэнергетический край спектра ФЛ перекрывается с низкоэнергетическим краем спектра СВЛ (антистоксовая люминесценция). Эта необычная люминесценция может быть объяснена, если предположить, что a-C:H представляет собой набор наноструктур с различной оптической шириной запрещенной зоны. Такое предположение может легко объяснить наличие протяженного края

поглощения, СВЛ и его насыщение, широкого спектра ФЛ.

Квантовая эффективность в полученных пленках соответствует 10-15%. Отметим, что фотопроводимость в спектральном диапазоне излучения пленок не обнаружена. Исследования ФЛ в широком температурном диапазоне 4.2-900 К показали, что форма спектра, полуширина и положение максимума в а-С:Н не меняются. Интенсивность ФЛ в максимуме спектрального распределения ФЛ слабо зависит от температуры. В области высоких температур ( $T > 700$  К) наблюдается уменьшение интенсивности ФЛ (пленки 1, 2 см. рис.1). Подобное гашение ФЛ с температурой наблюдали авторы [2] при  $T > 350$  К и  $T > 620$  К.

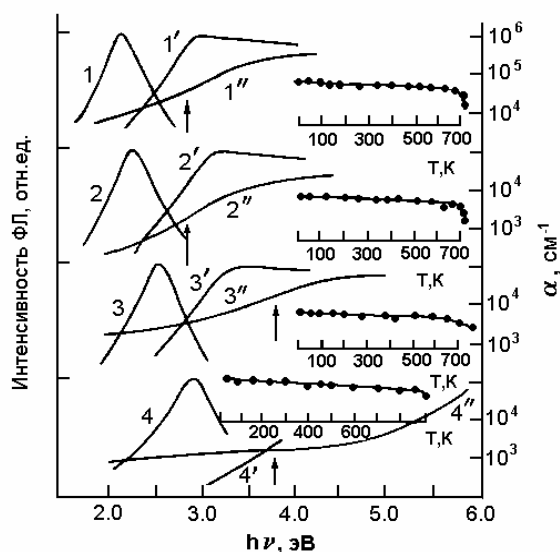


Рис.1. Спектры ФЛ (1-4), спектры возбуждения ФЛ (1'-4') и край поглощения (1''-4'') для пленок а-С:Н, осажденных на кварцевые подложки;  $T=293$  К. Толщина пленок - 1 - 1 мкм, 2 - 0.2 мкм, 3 - 0.4 мкм, 4 - 0.2 мкм. На вставках температурная зависимость интенсивности ФЛ. Стрелками отмечены энергии квантов возбуждающего света.

Отметим, что в пленках с  $h\nu_{\max} \approx 2.9$  эВ интенсивность ФЛ не зависит от температуры в диапазоне 4.2-900 К. Уменьшение интенсивности ФЛ с ростом температуры связано с термической диффузией водорода. Содержание водорода в пленках, максимум ФЛ которых соответствует  $h\nu_{\max} \approx 2.05$ -2.2 эВ, оценено по спектрам инфракрасного (ИК) поглощения и составляет 25-30%. Для остальных пленок содержание водорода составляет 10-15%. ИК спектр а-С:Н осажденный на кремниевую подложку показывает три моды валентных колебаний -  $\text{CH}_2$  ( $2920 \text{ см}^{-1}$ ), -  $\text{CH}_3$  ( $2860 \text{ см}^{-1}$  и  $2950 \text{ см}^{-1}$ ). В области деформационных колебаний наблюдаются полосы  $1450 \text{ см}^{-1}$  ( $-\text{CH}_2$ ) и  $1370 \text{ см}^{-1}$  ( $-\text{CH}_3$ ). Данные результаты свидетельствуют о том, что водород в пленках а-С:Н содержится в тетраэдрической конфигурации, устойчивой до 900 К.

Таким образом, выбранные нами технологические

параметры получения пленок а-С:Н позволяют получать этот материал с оптической шириной запрещенной зоны  $E_g=4.5$  эВ, большой микротвердостью  $6 \cdot 10^{10}$  Па, низкой проводимостью ( $10^{-17} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) и эффективно использовать его для формирования различных приборов микроэлектроники.

Для создания структуры а-С:Н/а-Si:Н пленки а-Si:Н наносились на а-С:Н разложением силана в плазме ВЧ-разряда. В качестве рабочей смеси использовался силан разбавленный аргонном (отношение 1:3). Пленки а-Si:Н различной толщины наносились между аморфными слоями а-С:Н. Периодичность и совершенство слоев улучшается по мере увеличения числа слоев (20 - 30) и удаления слоев от подложки [3]. Квантовые размерные эффекты исследовались методом ФЛ и края поглощения при  $T=77$  К.

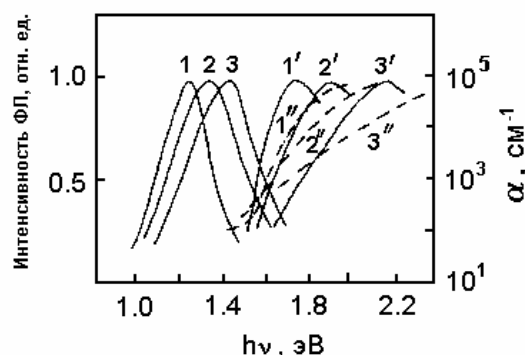


Рис.2. Спектры ФЛ (1-3), СВЛ (1' -3') и край поглощения (1'' -3'') структуры а-С:Н/а-Si:Н при  $T=77$  К в зависимости от толщины слоя а-Si:Н.

Исследования ФЛ служат богатым источником информации о процессах рекомбинации электронно-дырочных пар в аморфных полупроводниках. Но даже в тех же условиях, когда удастся построить вполне согласованную картину излучательных и безызлучательных рекомбинационных процессов, остается ряд фундаментальных вопросов, на которые пока нет ответов. Возможно, это частично связано с тем, что бесструктурные спектры ФЛ, в том числе и с разрешением по времени, допускают трактовку в рамках различных моделей. Отсутствует четкая картина рекомбинационных процессов в одиночных слоях а-Si:Н, что затрудняет интерпретацию новых результатов, полученных на базе сложных структур.

Спектры ФЛ, СВЛ и края поглощения пленок а-Si:Н различной толщины, помещенных между аморфными слоями а-С:Н приведены на рис.2. Уменьшение толщины слоя а-Si:Н ( $d < 100 \text{ Å}$ ) приводит к смещению в область больших энергий спектров ФЛ, СВЛ и края поглощения, при этом низкоэнергетический край СВЛ и край поглощения становятся более пологими. Отметим, что СВЛ в аморфных слоях с квантовыми ямами практически не исследованы. Используя мощный источник возбуждения (ксеноновую лампу мощностью 1000 Вт), впервые удалось исследовать спектры СВЛ

в слоях различной толщины.

Центрами рекомбинации являются простейшие из возможных существующих дефектов: трехкоординированная нейтральная оборванная связь  $(D3)^0$  и положительно и отрицательно заряженные оборванные связи  $(D3)^+$ ,  $(D3)^-$  [4]. Дефекты  $(D3)^0$  дают в щели два состояния: нижнее заполненное и верхнее пустое, расстояние между которыми (по энергии) равно корреляционной энергии  $U$ . Удалив электрон с центра  $(D3)^0$ , последний превращается в центр  $(D3)^+$ , при этом наводятся сильные химические связи, приводящие к искажению локального окружения. Поглощение излучения с энергией равной ширине щели создает  $e-h$ -пары, которые быстро термализуются в хвостах зон.

Поскольку наличие сдвига Стокса доказано, а подвижность дырок в  $a-Si:H$  меньше, чем подвижность электронов [5], то можно говорить о самозахвате дырок в хвостах зон. Излучательная рекомбинация осуществляется в этом случае за счет туннелирования между хвостами зон. Изменение основных параметров спектра ФЛ (положение максимума, полуширины, интенсивности) в зависимости от толщины слоя приведены на рис.3, из которых видно, что с уменьшением толщины пленки  $a-Si:H$  квантовая эффективность падает, увеличивается полуширина спектра ФЛ, а ее максимум смещается в область больших энергий. Увеличение оптической щели сопровождается размытием хвостов зон, что приводит к росту полуширины спектров ФЛ.

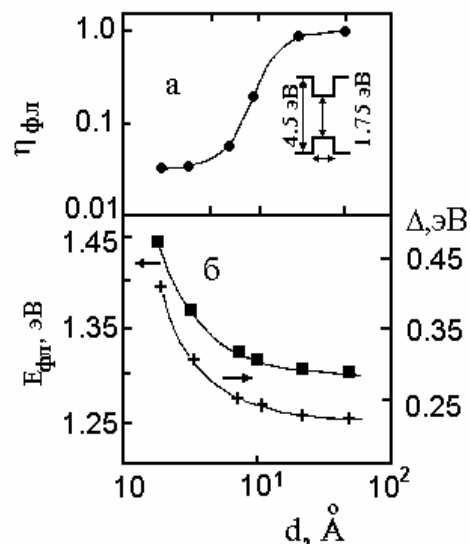


Рис.3. Зависимость квантовой эффективности (а) (вставка: энергетическая зонная диаграмма структуры  $a-C:H/a-Si:H$ ), положение максимума спектра ФЛ и ее полуширины (б) от толщины узкозонного слоя.

Данные, полученные с помощью ФЛ и краевого поглощения, указывают на существование резкой границы раздела в структурах  $a-Si:H/a-C:H$ , а носители в  $a-Si:H$  находятся в режиме квантования из-за ограничения движения электронов и дырок в поперечном направлении.

[1]. Бабаев А.А., Абдулвагабов М.Ш. // Письма в ЖТФ. 1989. Т.15. В.14. С. 75.  
 [2]. Васильев В.А., Волков А.С., Мусабеков Е., Теруков Е.И. // Письма в ЖТФ. 1988. В.18. С. 1675.  
 [3]. Бабаев А.А., Зобов Е.М., Габибов Ф.С. //

Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В.22. С. 86.  
 [4]. Меден А., Шо М. Физика и применение аморфных полупроводников. М.: Мир, 1991. 670 с.  
 [5]. Х. Фрицше. Аморфный кремний и родственные материалы. М.: Мир, 1991. 544 с.