



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, 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 $h\nu_{max} \cong 2.9$ эВ до $h\nu_{max} \cong 2.05$ 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.

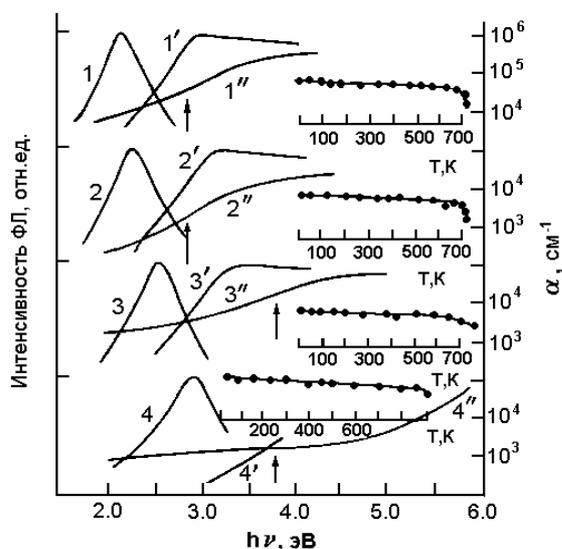


Рис.1. Спектры ФЛ (1-4), спектры возбуждения ФЛ (1'-4') и край поглощения (1''-4'') для пленок а-С:Н, осажденных на кварцевые подложки; $T=293$ К. Толщина пленок - 1 - 1 мкм, 2 - 0.2 мкм, 3 - 0.4 мкм, 4 - 0.2 мкм. На вставках температурная зависимость интенсивности ФЛ. Стрелками отмечены энергии квантов 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 - CH_2 (2920 см^{-1}), - CH_3 (2860 см^{-1} и 2950 см^{-1}). В области деформационных колебаний наблюдаются полосы 1450 см^{-1} ($-\text{CH}_2$) и 1370 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 аргоном (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.

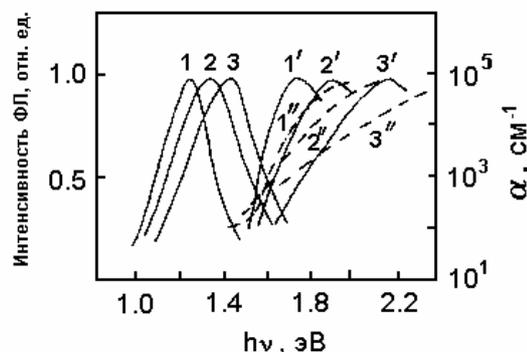


Рис.2. Спектры ФЛ (1-3), СВЛ (1' -3') и край поглощения (1'' -3'') структуры а-С:Н/а-Si:Н при $T=77$ К в зависимости от толщины слоя а-Si:Н.

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 ($d < 100 \text{ \AA}$) 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.

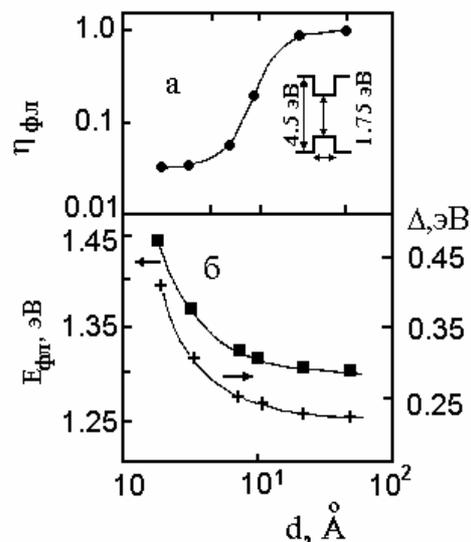


Рис.3. Зависимость квантовой эффективности (а) (вставка: энергетическая зонная диаграмма структуры a -C:H/ a -Si:H), положение максимума спектра ФЛ и ее полуширины (б) от толщины узкозонного слоя.

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.