

06.2;11;12

©1995

КВАНТОВЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В $a\text{-Si:H}/a\text{-C:H}$

А.А.Бабаев, Е.М.Зобов, Ф.С.Габибов

В многослойных структурах, полученных на основе $a\text{-Si:H}$, был обнаружен ряд новых электронных явлений, к числу которых относятся квантовые размерные эффекты. Квантовые размерные эффекты исследованы различными методами в $a\text{-Si:H}$, изолированном барьерами из $a\text{-SiC:H}$, $a\text{-SiN}_x\text{:H}$, $a\text{-SiO}_x\text{:H}$ [1]. Особый интерес представляет аморфный алмазоподобный гидрированный углерод ($a\text{-C:H}$). Этот материал с шириной запрещенной зоны $E_g = 4.5$ эВ, имеющий совершенную структуру ближнего порядка, совместимый по технологии с $a\text{-Si:H}$, водород в котором содержится в конфигурациях, устойчивых до 900 К, обладающий большой микротвердостью $6 \cdot 10^{10}$ Па, низкой проводимостью (10^{-17} Ом $^{-1} \cdot$ см $^{-1}$) при комнатной температуре [2], позволяет эффективно использовать его для формирования различных приборов микроэлектроники.

Если поместить сверхтонкий слой $a\text{-Si:H}$ между $a\text{-C:H}$, то можно создать глубокую потенциальную яму с резкими краями и получить уникальную возможность исследовать квантовые размерные эффекты.

Пленки $a\text{-C:H}$ получены плазмохимическим осаждением при разложении газовых смесей 10% $\text{CH}_4 + 90\%$ Ar в плазме ВЧ-разряда емкостного типа на кварцевые подложки при $T_s = 220^\circ\text{C}$ (T_s — температура подложки). На структуру и электронные свойства пленок $a\text{-C:H}$ с определяющим образом влияют параметры ВЧ-разряда, такие как отношения напряженности электрического поля к давлению газовой смеси (E/P) в зоне осаждения. При уменьшении отношения E/P получены алмазоподобные пленки, ширина запрещенной зоны (E_g) которых увеличивается от 3 до 4.5 эВ. Пленка $a\text{-C:H}$ с $E_g = 4.5$ эВ, толщиной $d = 0.2$ мкм, имеющая более чем вдвое широкую энергетическую щель относительно $a\text{-Si:H}$, впервые использовалась в качестве изолирующего слоя. Пленки $a\text{-Si:H}$ различной толщины наносились на $a\text{-C:H}$ разложением силана в плазме ВЧ-разряда. В качестве рабочей смеси использовался силан, разбавленный аргоном (соотношение 1 : 3). Квантовые размерные эффекты исследовались методами межзонного оптического поглощения и фотолюминесценции (ФЛ) при $T = 77$ К.

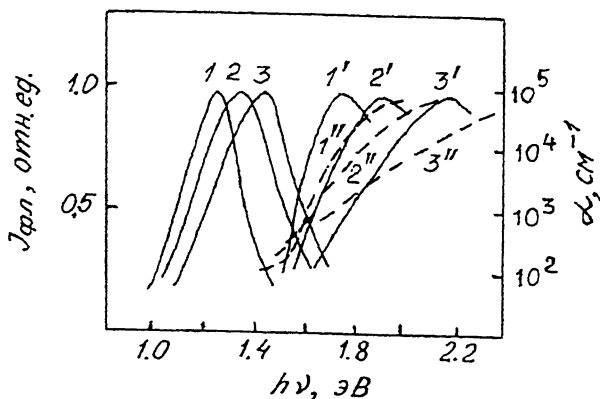


Рис. 1. Спектры ФЛ (1-3), СВЛ (1'-3') и край поглощения (1''-3'') структуры $a - \text{Si:H}/a - \text{C:H}$ при $T = 77 \text{ K}$ в зависимости от толщины слоя $a - \text{Si:H}$.

Исследования ФЛ служат богатым источником информации о процессах рекомбинации электронно-дырочных пар в аморфных полупроводниках. Но даже в тех же условиях, когда удается 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 $a\text{-Si:H}$, что затрудняет интерпретацию новых результатов, полученных на базе сложных структур.

Спектры ФЛ и ее возбуждения (СВЛ) исследовались на установке, описанной в [3], где в качестве источника возбуждения люминесценции использовался монохроматический свет от ксеноновой лампы мощностью 3000 Вт.

Спектры ФЛ, СВЛ (спектра возбуждения люминесценции) и края поглощения пленок $a\text{-Si:H}$ различной толщины, помещенных между аморфными слоями $a\text{-C:H}$, приведены на рис. 1. Уменьшение толщины слоя $a\text{-Si:H}$ ($d < 80 \text{ \AA}$)

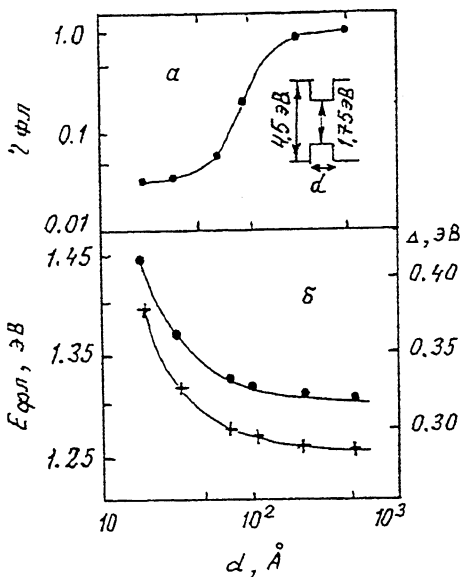


Рис. 2. Зависимость квантовой эффективности (а) (вставка: энергетическая зонная диаграмма структуры а — Si:H/a — C:H), положение максимума спектра ФЛ и ее полуширины (б) от толщины узкозонного слоя.

приводит к смещению в область больших энергий спектров ФЛ, СВЛ, края поглощения, при этом низкоэнергетический край СВЛ и край поглощения становятся более пологими. Низкоэнергетический край СВЛ слабо отличается от края поглощения, что свидетельствует о том, что центры рекомбинации являются частью зоны проводимости и валентной зоны. Отметим, что СВЛ в аморфных слоях с квантовыми ямами практически не исследованы. Используя мощный источник возбуждения, впервые удалось получить результаты исследования СВЛ в слоях различной толщины. Центрами рекомбинации являются простейшие из возможных существующих дефектов: терхкоординированная нейтральная оборванная связь D_3^0 и положительно и отрицательно

заряженные оборванные связи D_3^+ , D_3^- . Дефекты D_3^0 дают в щели два состояния: нижнее заполненное и верхнее пустое, расстояние между которыми (по энергии) равно корреляционной энергии U . Удалив электрон с центра D_3^0 , последний превращается в центр D_3^+ , 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 [4], то можно говорить о самозахвате дырок в хвостах зон. Излучательная рекомбинация осуществляется в этом случае за счет туннелирования между хвостами зон. Изменения основных параметров ФЛ (положения максимума спектра ФЛ, полуширины, интенсивности) в зависимости от толщины слоя приведены на рис. 2, из которого 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 спектра ФЛ.

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 слое и направлении.

Список литературы

- [1] Фрицше. Аморфный кремний и родственные материалы. М.: Мир, 1991. С. 542.
- [2] Бабаев А.А., Абдулвагабов М.Ш. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 14. С. 75-79.
- [3] Бабаев А.А., Теруков Е.И. // Электронная техника. 1991. В. 5. (259). С. 32-34.
- [4] Teedje T., Sebvika Y.M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1981. V. 46. P. 1425.

Институт физики
Дагестанского Научного
Центра РАН
Махачкала

Поступило в Редакцию
6 мая 1995 г.