

СВЕРХРЕШЕТКИ PbS—CdS, ПОЛУЧЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

Л. Г. Бакуева, В. И. Ильин, С. Ф. Мусихин, О. В. Рабизо,
О. В. Шаронова,¹ А. В. Гирич

Санкт-Петербургский государственный технический университет,

195251, Санкт-Петербург, Россия

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021,

Санкт-Петербург, Россия

(Получено 13 июля 1993 г. Принято к печати 26 июля 1993 г.)

Квантово-размерные структуры и сверхрешетки (СР) в настоящее время получают, используя, как правило, молекулярно-лучевую эпитаксию материалов типа $A^{III}B^V$. Максимальная высота потенциальных барьеров в таких структурах ограничена энергией, определяемой шириной запрещенной зоны $AlAs$ ($\Delta E = 2.12$ эВ, 300 К) как наиболее широкозонного из полупроводников типа $A^{III}B^V$. В результате использование СР на основе таких структур в полевых приборах затруднено из-за утечек через недостаточно высокий барьер.

Для получения СР можно использовать лазерное испарение материалов в вакууме [1]. Возможности этой методики еще не исследованы, но представляется перспективным использовать способность лазерного луча испарять любые материалы, в том числе и полупроводниковые, и диэлектрические. В частности, представляет интерес сочетание в единой СР структуре узко- и широкозонного полупроводниковых материалов. Для эксперимента в качестве таких материалов нами были выбраны сульфид свинца ($\Delta E = 0.41$ эВ, 300 К) и сульфид кадмия ($\Delta E = 2.4 \div 2.6$ эВ, 300 К). Для испарения материалов использовали твердотельный лазер $YAG : Nd$ в импульсном режиме. Мощность излучения в импульсе длительностью 30 нс составляла 0.3 Дж. Плотность излучения, подводимого к поверхности испарения, достигала 10^9 Вт/см². В качестве подложки для нанесения СР структуры использовали кремниевые пластины. Температуру подложки во время конденсации компонентов СР структуры поддерживали на уровне 100 °С.

Получены и исследованы два вида структур с чередующимися слоями: PbS- и CdS-структуры с 13-ю слоями PbS толщиной 100 Å и 14-ю слоями CdS толщиной 50 Å; структуры с 10-ю слоями PbS толщиной 20 Å и 11-ю слоями CdS толщиной 20 Å.

На рис. 1 показаны спектры оптического пропускания структур. В них обращают на себя внимание регулярные ступеньки при энергиях, меньших 0.41 эВ. Рассчитанный в этой области коэффициент поглощения составил $(1 \div 5) \times 10^4$ см⁻¹. Для сравнения на рисунке показаны спектры пропускания полученных лазерным испарением пленок сульфида свинца (кривая 3) и сульфида кадмия (кривая 4). Эти спектры не содержат особенностей в виде ступенек.

Особенности спектров структур можно объяснить квантованием энергии электронов в ямах, образованных слоями PbS и ограниченными слоями CdS. При ширине слоя PbS, равной 200 Å квантование приводит к образованию уровней, отстоящих друг от друга приблизительно на 70 ÷ 100 мэВ. Исходная шихта и одиночные пленки PbS имели *p*-тип проводимости с концентрацией носителей порядка 10^{18} см⁻³. Этому уровню легирования соответствует положение уровня Ферми между 2-м и 3-м уровнями квантования в валентной зоне. Особенности на спектрах (рис. 1), возможно, отражают переходы из глубины валентной зоны на 1-й и 2-й уровни квантования в валентной зоне. Отметим, что попытка установить точное соответствие энергетического положения ступеньки на спектре и энергий названных переходов оказывается успешной, если принять, что толщина

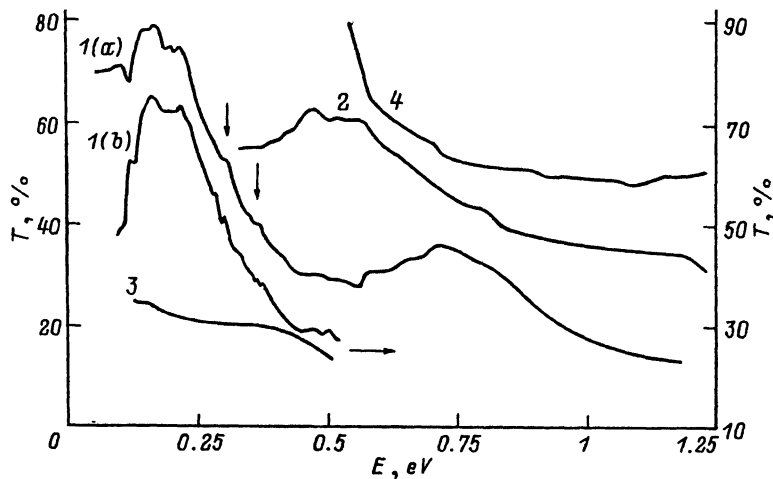


Рис. 1. Спектры оптического пропускания T сверхрешеток CdS—PdS: с шириной ямы PbS 200 Å при температуре 300 К [1, (a)] и 77 К [1 (b)]; шириной ямы PbS 100 Å при температуре 300 К (2); стрелками отмечены ступеньки на спектре, 3, 4 — спектры пропускания тонких пленок PbS и CdS соответственно, полученных лазерным напылением. Разрешение в области $E < 0.5$ эВ составляет 0.01 эВ.

слоя PbS составляет не 200 (величина, полученная экстраполяцией скорости роста одиночной пленки PbS при лазерном испарении на случай роста значительно более тонких слоев PbS в многослойной структуре PbS—CdS), а 178 Å. Следует также учесть, что из-за уширения уровней в сверхрешетке соответствующий переход может стать возможным при энергиях, меньших энергии перехода на строго дискретный уровень.

Спектр пропускания, снятый при 77 К [кривая 1 (b) на рис. 1], также показал присутствие ступенек, но с пиками на краю. Подобная структура заметна и в спектре поглощения при температуре 300 К (рис. 2).

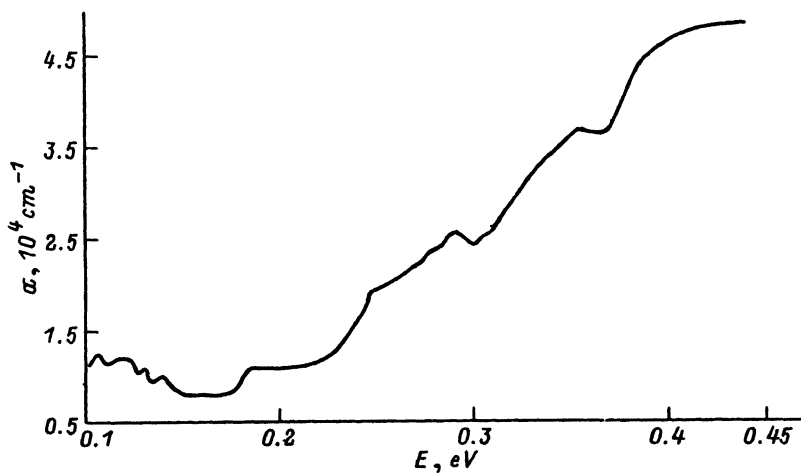


Рис. 2. Спектры оптического поглощения α сверхрешетки CdS—PbS с шириной ямы 200 Å при температуре 300 К.

Пропускание образцов, содержащих слой PbS толщиной 100 Å, (кривая 2 на рис. 1) также содержит особенности в виде ступенек. Эти особенности находятся в области длин волн с энергией более 0.53 эВ. Такой сдвиг соответствует увеличению расстояния между уровнями в квантовой яме примерно в 2 раза при уменьшении вдвое ее ширины.

Таким образом, лазерным испарением сульфидов свинца и кадмия получены структуры, которые, судя по особенностям оптического пропускания, можно идентифицировать как сверхрешеточные структуры.

Благодарим С. А. Немова за предоставленный сульфид свинца и А. В. Седова за создание технологической оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] С. В. Гапонов, Б. М. Лускин, Н. Н. Салащенко. Письма ЖТФ, 5, 516, (1979).

Редактор Д. В. Шаронова.

ФТП, том 27, вып. 11/12, 1993

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ, И МНОГОСЛОЙНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Л. Г. Бакуева, В. И. Ильин, С. Ф. Мусихин, Л. В. Шаронова¹

Санкт-Петербургский государственный технический университет,

195251, Санкт-Петербург, Россия

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,

194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 13 июля 1993 г. Принято к печати 26 июля 1993 г.)

В последнее время алмазоподобные пленки привлекают внимание широкого круга исследователей. Они вызывают интерес как защитные, химически стойкие покрытия, просветляющие пленки, изолирующие слои, и (при легировании примесями) как материалы для изготовления полупроводниковых приборов, в частности диодов. Значительная часть работ посвящена алмазоподобным пленкам, полученным в результате химических реакций или плазмохимическим способом [1]. В то же время алмазоподобные пленки можно получать при испарении графита лазерным лучом [2]. При надлежащем подборе режима испарения удается получить ряд пленок от графита до алмаза. Лазерное напыление пленок представляет интерес с точки зрения создания многослойных структур, используемых в микроэлектронике и в оптике. Метод лазерного импульсного напыления позволяет получать сплошные пленки толщиной от десятков до нескольких сотен ангстрем.

Нами методом импульсного лазерного напыления получены алмазоподобные пленки и структуры на их основе. Источником излучения является импульсный лазер ЛТИ-205 на YAG:Nd. Длительность импульса 30 нс, мощность энергии в импульсе 0.3 Дж. Лазерное излучение фокусировали на поверхности мишени с плотностью мощности до 10^9 Вт/см². Напыление проводили в вакууме при остаточном давлении от $6 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ тор. В качестве подложек использовали стекло, стекло с пленкой алюминия, кремний, арсенид галлия.

Показатель преломления n и толщина пленок d на стекле и кремнии определялись из эллипсометрических измерений. Анализ измерений (переход от