

ДОМЭНЫ (АВТОВОЛНЫ) ЭКСИТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ

В.А. Стадник

Зарегистрирована мультистабильность состояний доменов (волн) поглощения в полупроводниках, а также обнаружены домены экситонного поглощения.

Домены поглощения впервые для полупроводниковых материалов были зарегистрированы в селениде цинка¹. Оказалось, что домен сильного поглощения, локализованный на задней грани образца, при увеличении мощности света теряет устойчивость и начинает пульсировать, что приводит к периодическим изменениям сигнала излучения, прошедшего через образец. К двум предельным случаям этой неустойчивости относятся слабые пульсации локализованного домена и образование доменов, периодически движущихся от задней грани по световому

каналу и исчезающих в объеме образца. Процесс движения домена хорошо описывается в рамках модели теплопроводностного режима распространения оптического разряда в газах²⁻⁵.

В селениде цинка сильное поглощение в домене обусловлено межзонными переходами⁴, причем, только одного вида. Вместе с тем известно⁶, что в полупроводниках с большой энергией связи экситона край собственного поглощения вплоть до комнатной температуры формируется экситонными переходами. Поэтому особый интерес представляет изучение поведения доменов, связанных с экситонным поглощением в полупроводниках.

Для проведения экспериментов был выбран полупроводник сульфид кадмия, который характеризуется большой энергией связи (30 мэВ) основных состояний А-, В- и С-экситонов⁶. Падающее излучение с длиной волны 514,5 нм и мощностью не более 1 Вт непрерывного аргонового лазера модулировалось механическим прерывателем для уменьшения разогрева образцов. Чтобы получить резонансную нелинейность нарастания коэффициента поглощения, необходимую для образования домена^{1,4}, край собственного поглощения полупроводника перестраивался относительно энергии фотона падающего излучения за счет изменения температуры. Домены у задней грани объемных образцов формировались при помощи резкой фокусировки излучения на заднюю грань образца по методике, описанной в работе⁴. Свойства доменов поглощения изучались по временному поведению сигнала излучения, прошедшего через образец.

Рассмотрим основные закономерности поведения доменов поглощения для геометрии, в которой вектор поляризации параллелен оптической оси кристалла ($E \parallel C$). При температуре ниже критической ≈ 254 К в относительно узком диапазоне 5–7 К наблюдается только одно состояние сильного поглощения домена. Более одного устойчивого состояния сильного поглощения локализованного домена можно наблюдать при уменьшении температуры. На рис. 1 показано поведение выходного сигнала, когда при небольшом увеличении мощности падающего излучения происходит переход от одного (рис. 1б) устойчивого состояния сильного поглощения к двум (рис. 1в). Образованию доменов на задней грани при температурах выше критической препятствует уменьшение мощности света в объеме образца на хвосте поглощения полупроводника.

При изучении поведения домена поглощения в зависимости от температуры образца и мощности света было установлено, что для каждого из показанных на рис. 1 состояний сильного поглощения могут наблюдаться как слабые, так и сильные пульсации выходного сигнала^{1,4}. При этом оказалось, что период пульсаций локализованного домена практически не зависит от состояния поглощения, в котором находится домен. Этот факт согласуется с полученным ранее результатом, что период слабых пульсаций определяется характерным временем поперечного теплоотвода из области светового канала^{1,4}. Минимальное значение периода слабых пульсаций было около 4 мкс.

В случае образования движущихся доменов и сильных пульсаций выходного сигнала характерная длина пробега домена в объеме образца составляет 100–400 мкм. Длительность фазы движения домена для первых двух состояний меняется от 40 до 100 мкс. Наиболее важным параметром бегущего домена является его скорость. Оценка средней скорости домена дает значения в диапазоне $3 \cdot 10^2 - 10^3$ см/с.

В условиях, когда наблюдаются два состояния бегущего домена (рис. 2а и 2б), при увеличении мощности падающего излучения можно зарегистрировать третье состояние поглощения

(см. рис. 2б и 2в). В последнем случае переключение вниз имеет, как правило, сложный многоступенчатый характер (рис. 2в), что связано с прохождением через промежуточные состояния. При понижении температуры образца возрастают критические мощности поддержания каждого вида пульсаций в каждом из состояний, и число наблюдаемых состояний уменьшается. Этим обстоятельством объясняется различие в значениях параметров, приведенных в подписи к рис. 2.

Ограничимся в данной работе обсуждением поведения бегущих доменов поглощения. Мультистабильность состояний домена поглощения в сульфиде кадмия возможна и без учета экситонных эффектов, поскольку в геометрии $E \parallel C$ правилами отбора разрешены два вида межзонных переходов из валентных подзон V и C ⁶. В этом случае анализ устойчивости без учета процессов диффузии и теплопроводности (см. ^{3,5}) позволяет объяснить существование только двух, но не трех (!) состояний поглощения бегущего домена. Учет экситонных особенностей коэффициента поглощения тем не менее не приводит к увеличению числа состояний домена вследствие уширения линий V - и C -экситонов при использованных в эксперименте температурах. Поэтому для объяснения мультистабильности состояний поглощения бегущих доменов в сульфиде кадмия необходимо решать полную задачу о теплопроводностном режиме движения домена ^{3,5}.

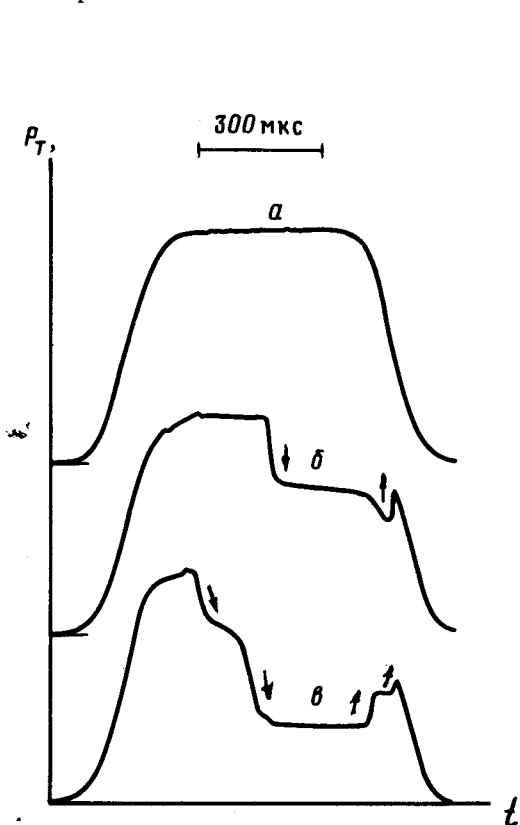


Рис. 1

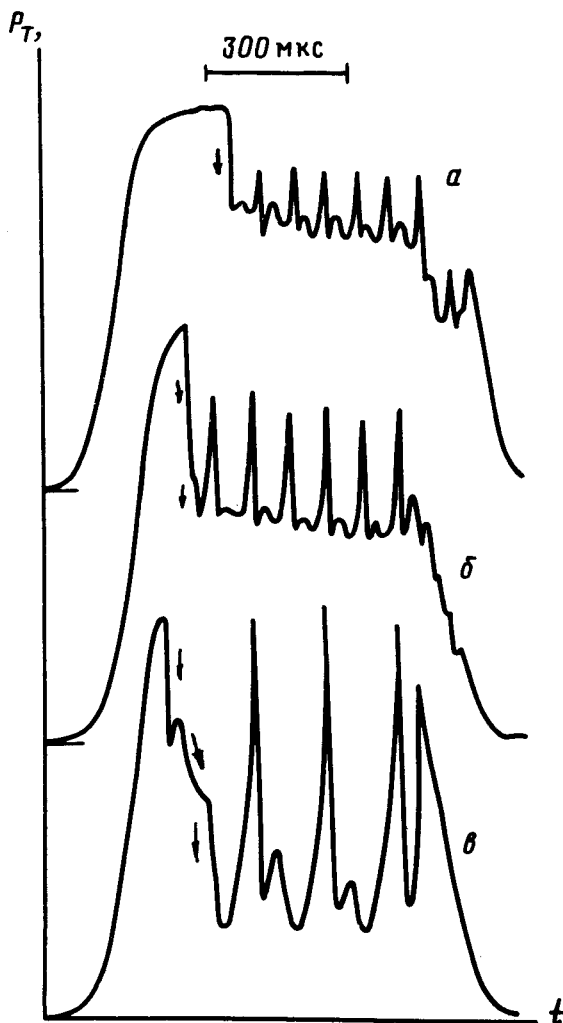


Рис. 2

Рис. 1. a – Форма импульса падающего излучения; b, c – сигналы излучения (P_T), прошедшего через образец толщиной 1,45 мм, в зависимости от времени (t). Температура образца – $T = 234$ К, мощность падающего излучения: $b - P_0 = 370$ мВт, $c - P_0 = 410$ мВт. Сигналы по вертикальной оси приведены в линейном масштабе в произвольных единицах. Стрелками обозначены переключения из одного состояния поглощения в другое

Рис. 2. Три состояния сильного поглощения бегущего домена во временном поведении выходного сигнала, зарегистрированные в одинаковой геометрии сужающегося светового канала при $E \parallel C$ в следующих условиях эксперимента: $a - T = 240$ К, $P_0 = 780$ мВт; $b - T = 248$ К, $P_0 = 640$ мВт; $c - T = 248$ К, $P_0 = 960$ мВт

Упрощенный анализ в рамках одномерного приближения этой задачи³⁻⁵ показывает, что наименьшую критическую мощность поддержания стационарного движения имеет домен, поглощение в котором связано с переходами в основное состояние V -экситона, поскольку линия V -экситона в начальных условиях является ближайшей к энергии фотона падающего излучения. Для возникновения в структуре домена поглощения, связанного с межзонными переходами из валентных подзон B и C , необходимо увеличение мощности падающего света, которое приводит к росту максимальной температуры домена и, как следствие этого, к уменьшению ширины запрещенной зоны полупроводника. Поглощение V -экситона при этом смещается из области максимальной температуры на передний фронт домена, где оказывается в докритических условиях, и домен чисто экситонного поглощения сформироваться не может.

Принимая во внимание эти выводы, экспериментальные результаты можно объяснить следующим образом. Так как первое и второе состояния поглощения бегущего домена незначительно отличаются по своим свойствам (рис. 2а и 2б), эти состояния должны быть связаны с близко расположенными переходами из валентной подзоны B в основное состояние экситона и зону проводимости. Причем первое состояние (рис. 2а) является чисто экситонным, а в формировании второго состояния (рис. 2б) участвуют оба вида переходов. Поведение третьего состояния бегущего домена заметно отличается от поведения двух первых состояний (см. рис. 2), и это может быть обусловлено появлением в структуре домена дополнительного поглощения, связанного с переходами из валентной подзоны C .

В заключение автор выражает благодарность В.Б.Тимофееву за поддержку настоящей работы, а также С.Э.Есипову и М.В.Лебедеву за обсуждение результатов.

Литература

1. Стадник В.А. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 142.
2. Райзер Ю.П. УФН, 1980, 132, 549.
3. Райзер Ю.П. Лазерная искра и распространение разрядов. М.: Наука, 1974.
4. Стадник В.А. ФТТ, 1987, 29, 3594.
5. Есипов С.Э. ЖЭТФ, 1988, 94, 118.
6. Физика соединений A_2B_6 . М.: Наука, 1986.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 апреля 1989 г.