

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

### ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ПОДЛОЖКЕ НА ФОРМУ ЛИНИИ ЦИКЛОТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА

(МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАМЕТКА)

С. Д. Сучалкин, Ю. Б. Васильев, Ю. Л. Иванов

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 12 июля 1993 г. Принято к печати 13 июля 1993 г.)

Исследование полуширины линии циклотронного поглощения двумерных электронов позволяет получать данные об их энергетической структуре в условиях воздействия сильных магнитных полей и ее зависимости от внешних условий. Как хорошо известно, важным фактором, определяющим полуширину линии циклотронного поглощения, являются флуктуации потенциала (см., например, [1]), который может экранироваться свободными носителями заряда. В двумерных структурах при выполнении первого квантового предела концентрация носителей, способных экранировать потенциал, зависит от величины магнитного поля, в результате чего полуширина линии циклотронного поглощения осциллирует при его изменении [2, 3]. Максимумы и минимумы осцилляций коррелируют с изменением фактора заполнения уровней Ландау, который определяет концентрацию носителей заряда, способных экранировать потенциал. Обычно в таких измерениях анализируются симметричные линии поглощения, получаемые при развертке магнитного поля образца и при использовании зондирующего излучения газовых лазеров с дискретными наборами частот. Вместе с тем имеются работы, в которых линия циклотронного поглощения оказывается несимметричной с сильной «затяжкой» одного из краев линии [4, 5]. Причина этого явления, как показано в ряде работ [6–8], заключается в возникновении интерференции в образце при изменении его магнитного поля. В этих работах дан теоретический анализ явления и проведены экспериментальные исследования, в которых условия интерференции изменялись при изменении поляризации зондирующего излучения и толщины подложки образца. В качестве зондирующего использовалось излучение газовых лазеров с дискретным набором частот.

В настоящей работе влияние интерференции на форму линии циклотронного поглощения двумерных электронов рассмотрено для ряда близко расположенных частот зондирующего излучения, что оказалось возможным благодаря применению германиевых циклотронных лазеров с плавной перестройкой частоты излучения.

В качестве объекта исследования были использованы гетероструктуры GaAs/AlGaAs с подвижностью  $1.5 \cdot 10^6$  см<sup>2</sup>/В·с и концентрацией  $4.2 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup> при  $T = 4.2$  К. Образцы помещались в сверхпроводящий соленоид так, чтобы вектор напряженности магнитного поля был направлен перпендикулярно поверхности структуры. Излучение германиевого циклотронного лазера, взятого в

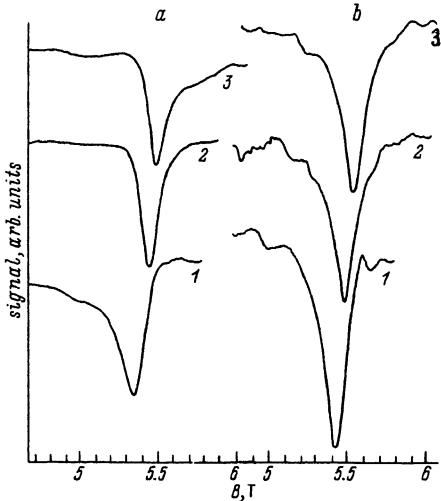


Рис. 1. Линии циклотронного поглощения гетероструктуры AlGaAs/GaAs с плоскопараллельной (а) и клиновидной (б) подложкой при энергиях кванта зондирующего излучения, мэВ, 1 — 8.97, 2 — 9.12, 3 — 9.19.

качестве источника, проходило через образец и регистрировалось фотоприемником Ge : Ga. Спектры циклотронного поглощения записывались при развертке магнитного поля образца для разных близко расположенных частот зондирующего излучения. В полученной серии спектров при наличии интерференции в подложке (границы образца плоскопараллельные) в некотором интервале частот четко наблюдается затяжка краев линии поглощения. При изменении частоты затяжка, наблюдаемая при некоторой час-

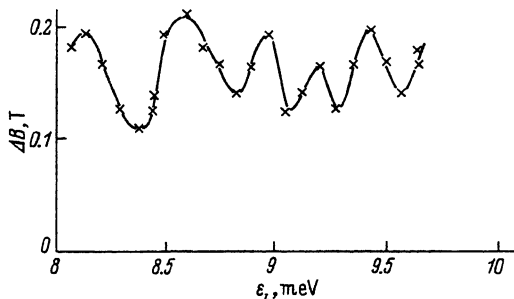


Рис. 2. Зависимость полуширины линии циклотронного поглощения от энергии кванта зондирующего излучения.

тоте зондирующего излучения, скажем на низкочастотном крае, плавно переходит на высокочастотный, тогда как на промежуточной частоте линия поглощения оказывается симметричной. При этом измеренная полуширина линии циклотронного поглощения с изменением магнитного поля оказывается осциллирующей. Имеющаяся возможность использовать близко расположенные частоты зондирующего излучения позволила экспериментально исследовать другой эффект влияния интерференции, теоретически предсказанный в [7], а именно периодически изменяющийся с частотой сдвиг положения циклотронного резонанса на оси  $H$  относительно действительного его значения.

Нарушение плоскопараллельности подложки (интерференция отсутствует) приводит к тому, что на всех используемых частотах зондирующего излучения форма линии

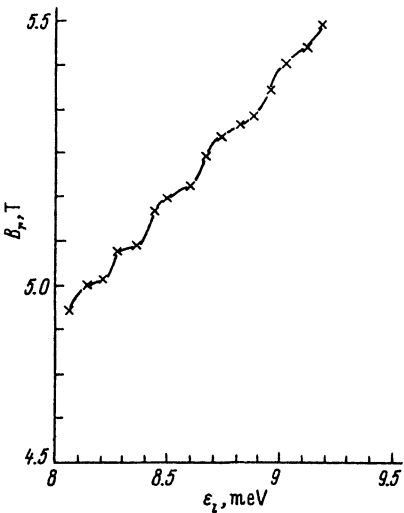


Рис. 3. Зависимость положения максимума линии циклотронного поглощения от энергии кванта зондирующего излучения.

циклотронного поглощения оказывается симметричной, а зависимость положения резонанса на оси  $H$  от частоты зондирующего излучения выражается прямой линией.

Сказанное иллюстрируется рис. 1—3. Заметим, что в используемом интервале частот фактор заполнения уровней Ландау оставался в пределах 1.0—1.5, что исключает связь с ним осцилляциями полуширины линии циклотронного поглощения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] И. В. Кукушкин, С. В. Мешков, В. Б. Тимофеев. УФН, 115, 219 (1988).
- [2] D. Hetmann, M. Ziesmann, L. L. Chang. Phys. Rev. B, 34, 7463 (1986).
- [3] R. Lassing, E. Gornik. Sol. St. Commun., 47, 959 (1983).
- [4] L. S. Kim, H. D. Drew, H. Munekata, L. L. Chang, L. Esaki. Sol. St. Commun., 66, 873 (1988).
- [5] H. Bluysen, J. C. Maan, P. Wyder, L. L. Chang, L. Esaki. Sol. St. Commun., 31, 35 (1979).
- [6] G. Abstreiter, J. P. Cotthaus, J. F. Koch, G. Dorda. Ph. Rev. B, 16, 2480 (1976).
- [7] M. von Ortenberg. Sol. St. Commun., 17, 1335 (1975).
- [8] T. A. Kennedy, R. J. Wagner, B. D. McCombe, J. J. Quinn. Sol. St. Commun., 18, 275 (1976).

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 27, вып. 11/12, 1993

### ВОЗГОРАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ЯМ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю. Л. Иванов, Г. В. Чураков, П. С. Копьев, В. М. Устинов,  
А. Ю. Егоров, А. Е. Жуков

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021, Санкт-Петербург, Россия  
(Получена 15 июля 1993 г. Принята к печати 19 июля 1993 г.)

Возможности получения инверсной населенности в системе подзон размерного квантования обсуждаются уже более 20 лет с момента появления первых публикаций [1–3]. Главная трудность этой задачи заключается в существовании широких каналов безызлучательных переходов между подзонами размерного квантования при релаксации горячих электронов [4]. Ее преодоление многие авторы видят в создании условий быстрого опустошения основного состояния, которые могут происходить при определенных конструкциях квантовых ям, включающих сочетания гетеропереходов первого и второго рода [5]. Вместе с тем существует и другой путь, заключающийся в подавлении каналов безызлучательных переходов при включении магнитного поля [6, 7]. В настоящей работе приводятся результаты экспериментальной проверки этой возможности.

Исследовалась фотолюминесценция, связанная с рекомбинацией горячих электронов и дырок первой и второй подзон размерного квантования. Если энергетический зазор между электронными подзонами меньше энергии оптического фотона и концентрация примеси достаточно мала, то межподзонная релаксация горячих электронов связана в основном с испусканием акустических фононов [4]. При включении магнитного поля, согласно [6] и [7], этот канал должен подавляться, когда нулевой уровень Ландау второй подзоны окажется с чуть меньшей (по сравнению с циклотронной) энергией, чем один из верхних уровней Ландау первой подзоны. В этом случае концентрация электронов во второй