

Спин-орбитальное взаимодействие электронов с атомарно резкой гетерограницей.

Теория и эксперимент

В.А. Волков¹, И. В. Кукушкин²

¹ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва

² ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия

Исследовано влияние атомарно резкого и непроницаемого интерфейса на спиновое расщепление спектра 2D электронов в асимметричной квантовой яме на основе гетероперехода (001) GaAs/AlGaAs. Построена полуфеноменологическая теория [1,2] интерфейсного спин-орбитального взаимодействия, описывающая экспериментальные данные [2,3] по электронному парамагнитному резонансу в подобной системе. Существующий в литературе аномально большой разброс данных по спиновым константам Рашбы и Дрессельхауза в квантовых ямах связывается с интерфейсной перенормировкой.

Литература

- [1] Ж. А. Девизорова, В. А. Волков, *Письма в ЖЭТФ*, **98**, 110 (2013).
- [2] Ж. А. Девизорова, А. В. Щепетильников, Ю. А. Нефедов, и др., *Письма в ЖЭТФ*, **100**, 111 (2014).
- [3] Yu. A. Nefyodov, A. V. Shchepetilnikov, I. V. Kukushkin, *et al.*, *Physical Review B*, **84**, 233302 (2011).

Транспорт и стимулированные излучения в простых сверхрешетках: блоховские колебания, ОДП, блоховский генератор и ванье–штарковские лазеры

А.А. Андронов

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

Введение (общее)

- 1. Электроны в периодических структурах в отсутствии поля: Функции Блоха и функции Ванье
- 2. Электроны в периодических структурах в поле: блоховские колебания, межзонное туннелирование, уровни Ванье–Штарка.

3. Сверхрешетка — одномерный периодический потенциал

Лекция первая

Электроны в одной (мини) зоне

1. Протекание тока и ОДП.
2. Зависимость ОДП от частоты, блоховский генератор, как «лазер без инверсии», интерпретации, группировка в импульсном пространстве, инверсия при непрямых переходах. Как 1-d расчет «думает» про инверсию?
3. Колебания пространственного заряда и сверхрешеточный осциллятор (SLED) — начали (Игнатов, Павельев, Копьев, Шомбург, Ренк) и последние работы Eisele *et al.*
Пионеры. Кромер, Яковлев, Келдыш, Эсаки и Тсу, Ктиторов, Симин, Санда-ловский.
4. Можно ли сделать блоховский генератор? Парадигма невозможности.
5. Два подхода к электродинамическим системам и типам волн, на которых работать.
6. Может можно сделать блоховский генератор? Проблемы.

Лекция вторая

Электроны в сверхрешетке во многих (мини) зонах

1. Картина на языке минизон и на уровнях Ванье–Штарка
2. Предложения (два) Казаринова и Суриса — как эта идея возникла, пусть Сурис расскажет — много ОДП на ВАХ. Пересечение уровней и расталкивание.
- 3а. Появился каскадный лазер на основе первой идеи Казаринова и Суриса. Сначала тоже боролся с парадигмой. Не буду о каскадных говорить.
- 3б. Экспериментальные работы, например французы, по ВАХ при включении многих минизон. Много пиков на ВАХ. Никаких колебаний.
- 3с. Мы начали с блоховской парадигмы и искали динамическую ОДП из-за группировки в сверхрешетке с узкими запрещенными минизонами. Расчеты классика, подтвердили динамическую ОДП: статической нет, а на блоховской частоте — есть.
4. В первых же экспериментах на сверхрешетках из группы Мармалюка — плечи (а не пики слабые барьеры) на ВАХ — квантовые эффекты. ВАХи для нескольких сверхрешеток. А это же туннелирование между уровнями Ванье–Штарка, как у Казаринова и Суриса, но через два-три и более периодов. Инверсия!! Множественная система одинаковых 2-х уровневых систем.
5. Диэлектрическая проницаемость двухуровневой системы. Формулы. Проблема при пересечении уровней — какие населенности?

6а. Вырастили «толстую» сверхрешетку — чтобы преодолеть потери в n^+ берегах (контактах). 1000 периодов! Расчеты уровней: с двумя–тремя уровнями Ванье в ямах. Результаты на ней, включая оптическую идентификацию. Подтверждение расчетами уровней. Никаких излучений и колебаний, кроме как в области ОДП Эсаки и Тсу. Вся картина стала ясна — возможна универсальная, автоматическая инверсия, без статической ОДП — парадигма!!! Схема инверсии.

6б. Надо было уменьшить потери в контактах сделать резонатор–металл–металл, как в каскадных лазерах. Схема изготовления МПТ.

7. Была выращена в группе Мармалюка пластина со 1000 периодами и стоп слоем и чипы с волноводом металл–металл из нее (более 30) по оригинальной технологии, не как в МПТ.

8. Эксперименты: наблюдаены множественные области колебаний тока и множественные зоны стимулированного излучения на ГГц при резонансах между уровнями Ванье–Штарка. Но ТГц не наблюдали, как хотелось.

9. Расчеты уровней, матричных элементов и отрицательной проводимости. Сопоставление с областями ГГц излучений. Влияние стимулированного излучения на ток. Закрытие парадигмы?.

10. Стимулированное излучение на частотах около 10 ГГц до 150 К!!!

11. Результаты — много, сколько хватит времени.

12. Почему нет ТГц — потери в берегах при выбранном способе создания. Обсуждение технологии. Надо ее менять!

13. Что дальше? ТГц и выше. От ГГц до ТГц и выше. Другие материалы. Кремний??

14. Подайте Христа ради на продолжение работы!!!!

Литература

- [1] A.Ya. Shik, *Fiz. Tech. Polupr.* **8**, 1841 (1974).
- [2] Karl Leo, *High field transport in semiconductor superlattices*, Springer Tracts 187
- [3] H. Kroemer, *Large amplitude oscillation dynamics and domain suppression in a superlattice Bloch oscillator*, cond-mat/0009311.
- [4] V.A. Yakovlev, *To Fiz. Tverd. Tela*, **3**, 1983, (1961).
- [5] L.V. Keldish, *Fiz. Tver. Tela* **4**, 2265 (1962).
- [6] L. Esaki and R. Tsu, *IBM J. Res. Dev.* **14**, 61 (1970).
- [7] С.А. Ктиторов, Г.С. Симин, В.Я. Сандаловский, *ФТТ*, **13**, 2230 (1971).
- [8] E. Schomburg, R. Scheuerer, S. Brandl, *et al.*, *Electron Lett.* **35**, 12 (1999).
- [9] H. Eisele, S.P. Khanna and T.Y. Linfield, *Applied Phys. Lett.* **96**, 972101 (2010).
- [10] R.F. Kazarinov and R.A. Suris *Sov. Phys. Semicond.*, **5**, 707 (1971).
- [11] A. Sibille, C. Minot and F. Laruelle, *J. of Modern Physics B*, **14**, 909 (2000).
- [12] А.А. Андронов, Е.П. Додин, Д.И. Зинченко, и др. *Физика и техника полупроводников*, **43**, 248 (2009).

- [13] A.A. Андронов, Е.П. Додин, Д.И. Зинченко, и др. *Квантовая электроника*, **40**, 400 (2010).
- [14] A.A. Андронов, Е.П. Додин, Д.И. Зинченко, и др. *Физика и техника полупроводников*, **47**, 65 (2013).
- [15] A.A. Andronov, E.P. Dodin, Yu. N. Nozdrin, *et al.*, *Proceedings of 22nd Int. Symp. Nanostructure: Physics and Technology* St Petersburg, Russia, June 23–27, 2014, pp 245–246.

Kinetics and statistics of nanowire growth

F. Glas

CNRS – Laboratoire de Photonique et de Nanostructures Route de Nozay, Marcoussis, France

The formation of nanowires (NWs) of semiconductors and of their heterostructures offers several choice examples of crystal growth in a confined medium of nanometric size. I shall discuss different studies carried out recently at LPN in the domain of III-V nanowires, concentrating on the intimate coupling between the modeling of epitaxial growth and its experimental study. This will give me the opportunity to recall how nanowires grow, without hiding that the understanding of the growth mechanisms, and sometimes even their very identification, are far from being stabilized yet.

First recall that NWs frequently grow in the vapor-liquid-solid (VLS) mode, from a liquid (L) catalyst droplet whose volume is of the order of a zeptoliter. The droplet is fed by the vapour (V) fluxes set up in the growth chamber and growth produces the solid (S) NW.

1. Self-catalyzed growth

Modeling VLS growth of III-V NWs mediated by a foreign catalyst (such as Au) is made tricky by the complex composition of the droplet and the multiplicity of material pathways involved. Modeling self-catalyzed growth, where the catalyst consists of the group III element of the solid NW, is potentially simpler. In particular, the thermodynamics of the (III,V) liquid that constitutes the droplet are known. And for GaAs at least, a striking feature of this method is that the NW growth rate is governed by the group V (As) flux supplied to the sample and varies linearly with it. At the same time, As diffusion is negligible. We have thus developed an “As-only” fully quantitative model of the self-catalyzed molecular beam epitaxy (MBE) growth of GaAsNWs, that depends on only a few a priori unknown physical parameters [1]. The model relies on As material balance between the three VLS phases and includes nucleation, evaporation and capture