Колодка Роман Степанович, інженер першої категорії за темою 19БФ051-04 НДЛ &laquo;Електронно-оптичних процесів&raquo; кафедри експериментальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Назва дисертації: &laquo;Когерентнi властивостi екситона одиничної квантової точки помiщеної у фотодiод&raquo;. Шифр та назва спеціальності 01.04.05 оптика, лазерна фізика. Спецрада Д26.001.23 Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Київський Нацiональний Унiверситет

iменi Тараса Шевченка

На правах рукопису

Колодка Роман Степанович

УДК 53.07, 535.3

Когерентнi властивостi екситона одиничної

квантової точки, помiщеної у фотодiод

01.04.05 — оптика, лазерна фiзика

Дисертацiя на здобуття наукового ступеня

кандидата фiзико-математичних наук

Науковий керiвник

Дмитрук Iгор Миколайович,

доктор фiзико-математичних наук, професор

Київ — 2021

ЗМIСТ

Анотацiя 2

Вступ 18

Роздiл 1. Напiвпровiдниковi квантовi точки для квантових

обчислень 22

1.1. Квантовi точки . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 22

1.1.1. Низькорозмiрнi напiвпровiдниковi структури . . . . . 22

1.1.2. Оптичнi та електричнi властивостi квантових точок . 30

1.1.3. Квантова точка– “штучний атом” . . . . . . . . . . . . 34

1.2. Квантовi обчислення . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 36

1.2.1. Мiнiатюризацiя елементiв комп’ютера . . . . . . . . . 36

1.2.2. Використання квантового бiта . . . . . . . . . . . . . 37

1.2.3. Структура квантового комп’ютера . . . . . . . . . . . 39

1.2.4. Вимоги до фiзичної реалiзацiї квантових обчислень . 41

1.2.5. Набiр операцiй квантової логiки . . . . . . . . . . . . 43

1.3. Когерентне оптичне керування квантовою системою . . . . . 46

1.3.1. Когерентнiсть квантової точки . . . . . . . . . . . . . 46

1.3.2. Рабi осциляцiї . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 48

1.3.3. Представлення за допомогою сфери Блоха . . . . . . 51

1.3.4. Час життя та час когерентностi екситона . . . . . . . 52

1.4. Висновки до роздiлу 1 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 54

Роздiл 2. Експериментальнi методи дослiдження та опис зразка 55

2.1. Вступ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 55

2.2. Огляд лiтератури . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 56

16

2.2.1. Контроль p-орбiталi за рахунок вимiрювання фотолюмiнесценцiї з s-орбiталi . . . . . . . . . . . . . . . . . . 57

2.2.2. Резонансна флюоресценцiя . . . . . . . . . . . . . . . 58

2.2.3. Часороздiльний памп-проб . . . . . . . . . . . . . . . 60

2.2.4. Переваги оптичних методiв та недолiки методу вимiрювання фотоструму . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 63

2.2.5. Переваги методики вимiрювання фотоструму . . . . . 64

2.3. Квантова точка помiщена у фотодiод . . . . . . . . . . . . . 65

2.3.1. Епiтаксiйне вирощування напiвпровiдникової пластини 65

2.3.2. Виготовлення зразка . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 65

2.4. Вимiрювання фотоструму . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 68

2.4.1. Методика визначення заселеностi екситону вимiрюванням струму . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 69

2.4.2. Електричнi характеристики зразка . . . . . . . . . . . 72

2.5. Оптична спектроскопiя. Мiкро-фотолюмiнесцентна характеризацiя . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 74

2.6. Змiна форми оптичного iмпульсу . . . . . . . . . . . . . . . . 78

Роздiл 3. Рабi осциляцiї нейтрального екситона 82

3.1. Вступ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 82

3.2. Компромiс мiж ефективнiстю вимiрювань методом фотоструму та когерентнiстю екситона . . . . . . . . . . . . . . . . . . 83

3.3. Спостереження Рабi осциляцiй . . . . . . . . . . . . . . . . . 84

3.3.1. Вимiрювання при одиничному iмпульсi . . . . . . . . 85

3.3.2. Вилучення фонового сигналу . . . . . . . . . . . . . . 86

3.3.3. Вимiрювання при подвiйному iмпульсi . . . . . . . . . 87

3.4. Часороздiльнi вимiрювання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 88

3.5. Висновки до роздiлу 3 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 88

17

Роздiл 4. Вплив форми iмпульсу на Рабi осциляцiю 90

4.1. Профiль збудження для П-подiбного iмпульсу . . . . . . . . 92

4.2. Походження бiчних пiкiв . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 95

4.3. Гаусовий iмпульс . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 96

4.4. Порiвняння з теорiєю . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 97

4.5. Висновки до роздiлу 4 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 99

Роздiл 5. Двоiмпульсне збудження. Квантова iнтерференцiя 101

5.1. Iнтерференцiя Рамзея . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 101

5.2. Биття Рамзея . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 103

5.3. Висновки до роздiлу 5 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 105

Роздiл 6. Час життя та час когерентностi екситона 106

6.1. Визначення часу когерентностi екситона . . . . . . . . . . . 108

6.2. Вимiрювання вiдновлення iнверсiї. Визначення часу життя

за допомогою π iмпульсiв . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 112

6.3. Вплив ефекту тунелювання електрона та дiрки на когерентнi

властивостi екситона . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 116

6.4. Ефективнiсть детектування фотоструму . . . . . . . . . . . . 117

6.5. Висновки до роздiлу 6 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 119

Висновки 120

Список використаних джерел 122

ВИСНОВКИ

ВиготовленофотододШотткнаосновнапвпровдниковоїпластинизКТмималоїконцентрацїяквирощенометодоммолекулярнопроменевоїептаксїНазразококрмомчного

таШотткконтактвнанесенозатнюючуметалевумаскузсубмкроннимиапертурамиТакимчиномотриманодоступдоодиничних

КТ

ДлявизначеннязаселеностстануекситонавикористанометодвимрюванняфотострумуДетектуванняструмомзабезпечуємайже

миттєвийрезультатуможливлюючиспектральнвимрюванняприблизностоточоквобластклькохмеВчивимрюванняРабосциляцйблизькостаточокнаобластьвπзадеклькахвилин

СпостереженнямиРабосциляцйдоπпоказанощотакуКТ

можнарозглядатиякдворвневусистемуденижчомурвнювдповдаєКТбезекситонваверхньому–знейтральнимекситоном

восновномустанЦедозволяєвиконуватинабазодиничноїКТ

квантоввентилРеалзовановентилтаперетворенняАдамара

СтруктурафотододадозволяєзастосовуватипевнийступньконтролюелектричногополявякомуперебуватимеКТЗарахунок

квантоворозмрногоефектуШтаркаможназмнюватиенергюекситонаРазомззбудженнямподвйнимимпульсамицедозволяєприготуватидослджуванудворвневусистемуупотрбнйфазтарвн

заселеност

УзонахзнизькоюплощеюмпульсуΘπКТмаєлнйнийвдгук

тапрофльзбудженняподбнийдоспектрумпульсвПрибльших



значенняхплощспектральнопподбнихмпульсвспостергається

нелнйнепоглинанняпридвохбчнихрезонансахупрофлзбудження

Використаноявищеквантовоїнтерференцїдлявимрюваньчасу

когеренцїтачасужиттястанунейтральногоекситона

звимрюваньчасужиттявизначеномеханзмрелаксацїтунелюваннявдбуваєтьсяякдвоступеневийпроцес–швидкедляелектрона

таповльнедлядрки

Ефективнстьдетектуванняфотострумуєобмеженоючерезповльнеупорвняннзперодомвипромнюваннялазератунелювання

дрки