67-72-18/1
16.03.17

Відгук
офіційного опонента
завідувача кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету, доктора технічних наук, професора Козловського Валерія Валерійовича на дисертаційну роботу Невінського Дениса Володимировича «Дослідження і розроблення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах для пристроїв інфокомунікаційних систем», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Актуальність теми роботи. Розвиток компонентної бази інфокомунікаційних систем є орієнованим на пришвидшення процесів оброблення та передавання інформації, оптимізацію технологій спряження оптоелектронних компонентів для утворення комутованих магістральних каналів зв'язку, а також новітніх засобів управління інформаційними потоками у оптичній формі. Однією з основ сучасної радіотехніки, а також гібридної елементної бази мікроелектроніки надшвидкісні та ефективні керовані напівпровідникові перемикачі. Це – база для побудови як електронних логічних схем, мікропроцесорів тощо, так і для реалізації мультиплексорних вузлів, як засобів оптичних телекомунікаційних систем. Проте, за усієї своєї цінності, напівпровідникова основа має ряд фундаментальних обмежень, які зумовлені як гранично досяжними розмірами окремо взятих мікроелектронних компонентів, так і проблематикою теплових та енергетичних обмежень, технологічної складності їх спряження з пасивною компонентною базою, зокрема хвилеводами.

Перехід до фізичних принципів, які передбачають використання планарних нанорозмірних структур для трансформації вищезазначених пристроїв на основі явища поширення поверхневих плазмон-поляритонів дозволяє по новому оцінити гранично досяжні частоти взаємодії окремих компонентів. З позицій інтегральної оптики, за умов існування електронної ланки у «оптико-електро-оптичній» системі, не враховуючи суб-інтегральних технологій MEMS, бульбашкових перемикачів (які володіють відносно високою затримкою перемикання – до 10 мс, проте допустимими енергетичними втратами – до 5 дБ), технології електрооптичних перемикачів на основі, наприклад, літію ніобіту (високе загасання – від 3 дБ) , а також магнітооптичні системи є кращими за частотними характеристиками (швидкість перемикання порядку 10 нс), проте, їх швидкодія вже давно не відповідає сучасним вимогам до активних компонентів інфокомунікацій. Електро-адсорбційні напівпровідникові модулятори (Optically controlled electroabsorption modulators) на основі ефекту Штарка можуть доволі ефективно працювати на частотах у десятки гігагерц.

Проте, враховуючи, що у дисертаційній роботі Невінського Д.В. доведено можливість керування процесами поширення електромагнітних хвиль у наномасштабі з тривалістю керуючого імпульсу (а саме – тривалістю імпульсу лазерного випромінювання близько 27 фс), очевидно, що відбувається якісний перехід до можливості створення гібридного радіоелектронного базису, який, у межах активних компонентів, за рахунок властивостей поверхневих плазмон-

поляритонів та особливостей конструкції направляючих систем для їх поширення виключає необхідність оптико-електронних перетворень у відповідних пристроях інфокомунікаційних систем.

Отже, розв'язання наукового завдання розроблення та дослідження нанорозмірних структур на поверхневих плазмон-поляритонах для підвищення швидкодії та пропускної здатності пристроїв інфокомунікаційних систем, враховуючи проведені дослідження у міжнародних лабораторіях, є актуальним, а результати його розв'язання – практично цінними.

Загальна характеристика розділів дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено ґрунтовний огляд різних типів активного (комутаційного) обладнання інфокомунікаційних систем. Визначено основні переваги та недоліки існуючих технологій створення комутаційних матриць, враховано останні дослідження у галузі застосування фотонних кристалів. Проведено порівняльний аналіз ефективності технологій для створення зазначеного типу засобів телекомунікацій та розглянуто методи побудови оптичних мереж зв'язку, зокрема мультиплексування, означено перспективи їх розвитку. Продемонстровано особливості та переваги технологій створення нанорозмірних елементів пристроїв інфокомунікаційних систем: наноімпринтинг, скануюча зондова мікроскопія, молекулярно-променева епітаксія, іонне бомбардування та вакуумне напилення (с. 36-41). Виконано постановку завдання дисертаційного дослідження.

В другому розділі проведено математичне моделювання з метою вивчення поверхневих плазмон-поляритонів. Дослідження вказали на існування перспектив створення оптичних пристроїв нового покоління. Коливання поверхневих зарядів провідника на границі «метал-діелектрик» дійсно викликає великий інтерес у дослідників останніми роками. Зокрема, такий інтерес присутній і у галузі інформаційно-комунікаційних технологій. Наведені математичні співвідношення дозволили послідовно викласти процес створення математичної моделі виникнення та поширення поверхневих плазмон-поляритонів із використанням методів класичної електродинаміки та вищої математики, з урахуванням особливостей моделей Друде та хаотичних фаз (с. 44-72). Виконано моделювання поширення поверхневого плазмон-поляритона у нанорозмірній мультиплексуючій структурі в різних режимах її включення (4 канали, розгалужувач, суматор, с. 73-75).

У третьому розділі дисертаційного дослідження наведено технологію створення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах, яка базується на поетапній оптичній літографії і дозволяє спростити та здешевити технологію їх виготовлення за рахунок заміни дорогого лазерного обладнання засвітки на світловипромінюючі діоди з довжиною хвилі 365 нм або 410 нм. Описана на сс. 77-86 дисертації технологія є придатною для промислового виробництва плазмонних елементів та оптичних інтегральних схем. Відтак, у наступних підпунктах роботи представлено результати досліджень та моделювання процесу поширення поверхневого плазмон-поляритону у лінійному хвилеводі різних конфігурацій (прямої, планарно зігнутої), хрестоподібному хвилеводі, одержане зображення Фур'є, що демонструє напрям руху та інтенсивність поверхневого

плазмон-поляритону, фактично підтверджуючи його поширення (с. 89-90). Хрестоподібну структуру досліджено з точки зору можливості керування процесами поширення поверхневого плазмон-поляритону шляхом зміни поляризації збуджуючого випромінювання (с. 96-99). Досліджено двоканальний розгалужувач та можливості керування поширенням хвиль плазмон-поляритону при зміні позиції збуджуючого променя (с. 99 – 102).

В 4-му розділі цієї дисертаційної роботи досліджено процес розповсюдження поверхневого плазмон-поляритона у нанорозмірній структурі, що використовується в якості чотирьохканального мультиплексора. Дослідження проводились для різних варіантів та конфігурацій збудження цієї структури та показали задовільний результат. Досліджено випадки розгалуження потужності хвиль (с. 106-108), зокрема при зміні позиції збуджуючого лазерного променя (с. 110 – 112), а також його поляризації, що є особливо цікавим дослідженням (с. 113 – 115). Далі розглянуто також комбіноване керування (позиційно-поляризаційне). Докладно досліджено роботу описаної направляючої структури у режимі суматора.

У додатках до дисертаційної роботи наведено огляд промислових систем, побудованих за WDM технологією, ілюстративний матеріал до дисертаційної роботи, що виконаний у кольорі, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Характеристика наукової новизни. У дисертаційній роботі одержано такі нові наукові результати:

1. Набула подальшого розвитку математична модель процесу збудження та поширення поверхневих плазмон-поляритонних хвиль уздовж границі «метал-діелектрик» у плазмонних хвилеводах різної конфігурації, що враховує товщину металевої плівки у випадку, коли вона має 2D структуру, яка дала змогу експериментально дослідити вплив геометричних розмірів, кутів згину хвилеводів на інтенсивність та шляхи проходження плазмонної хвилі.

2. Вперше запропоновано метод створення плазмонних наноструктур, який базується на технології поетапної оптичної літографії і дозволяє підвищити ефективність їх виготовлення за рахунок використання оптичних світловипромінюючих діодів з довжинами хвиль 365 нм та 410 нм замість лазерів, а також є придатним для промислового виробництва плазмонних елементів та інтегральних оптичних схем для пристроїв інфокомунікаційних систем.

3. Набув подальшого розвитку метод керування процесом поширення поверхневих плазмон-поляритонів у нанорозмірній структурі чотирьохканального розгалужувача для його використання в терагерцовому діапазоні шляхом зміни позиції та поляризації лазерного променя. Експериментально підтверджено та досліджено режими його функціонування, як мультиплексора або демультиплексора з часовим розділенням інформації.

Вважаю, що мету дисертаційної роботи – розроблення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах для підвищення швидкодії та пропускної здатності інфокомунікаційних систем досягнуто повною мірою.

Методи досліджень, що використані у дисертаційній роботі є сучасними, а сама робота насичена експериментальними даними. Здобувач при досягненні

поставленої мети використав теорію електродинаміки, методи прикладної оптики, математичного та комп'ютерного імітаційного моделювання, натурного моделювання, поетапної оптичної літографіії, скануючої електронної мікроскопії, теорію передавання інформації тощо.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій забезпечуються коректністю постановки парціальних завдань досліджень, правильним та адекватним використанням загальноприйнятих математичних методів і теоретичної бази, перевіркою адекватності побудованих математичних моделей шляхом порівняння результатів моделювання з результатами експериментальних досліджень автора.

Наукове і практичне значення результатів, отриманих в дисертаційній роботі полягає у розв'язанні низки електродинамічних завдань, спрямованих на одержання та дослідження адекватних математичних моделей поширення поверхневих електромагнітних хвиль у спеціалізованих напрямних середовищах, підвищенні ефективності технології їх виготовлення, розробленні та дослідженні методів управління поширення поверхневих плазмон-поляритонів у хвилеводах, які реалізують, зокрема, мультиплексорні структури для пристроїв інфокомунікаційних систем.

Дисертаційна робота дозволила створити ряд прототипів, зокрема нанорозмірних структур на поверхневих плазмон-поляритонах – плазмонних хвилеводів різної конфігурації, розгалужувачів та мультиплексорів для підвищення швидкодії і пропускної здатності пристроїв інфокомунікаційних систем за частотними показниками елементної бази більше, ніж у 100 разів, порівняно з класичними напівпровідниковими технологіями. Її результати можуть бути використані для побудови інтегральних електронно-фотонних пристроїв терагерцового діапазону, для подальшого розвитку компонентного базису обчислювальних систем та надійних надвисокошвидкісних телекомунікаційних засобів передавання і комутації даних, у яких відсутні рухомі елементи.

Результати дисертаційної роботи використані при виконанні держбюджетної науково-дослідницької теми «Моделювання процесів електромагнітного відклику в модульованих нанорозмірних метал-діелектричних та напівпровідникових структурах» (ДБ/Теза), (2013-2015 рр.), № держреєстрації 0113U001354. Результати роботи також впроваджені в навчальний процес на кафедрі електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій Національного університету «Львівська політехніка» в рамках курсів «Наноелектроніка» та «Мікроелектронні засоби передачі інформації», що засвідчено відповідним актом впровадження.

Опублікування та апробація результатів дисертаційної роботи. За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових праць, у тому числі 7 статей у фахових наукових виданнях України та періодичних наукових виданнях інших держав, 4 з яких входять до видань, що цитуються в НМБ, а також 12 тез доповідей у матеріалах конференцій різного рівня. Вважаю, що дисертаційна робота достатнім чином опублікована (у відповідності до вимог чинних нормативних актів) та апробована виступами на конференціях.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота Невінського Д.В. «Дослідження і розроблення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах для пристроїв інфокомунікаційних систем» за оформленням відповідає чинним нормативним вимогам МОН України, що пред'являються до такого роду кваліфікаційних робіт. Дисертація написана зрозумілою та доступною науково-технічною мовою, послідовно, логічно і структуровано. Автореферат дисертації ідентично та досить змістовно відображає її основні положення, результати та висновки.

Зауваження та рекомендації щодо дисертаційної роботи. Разом із позитивними якостями даного дисертаційного дослідження, варто відмітити також ряд зауважень:

1. В роботі не уточнено номенклатуру потенційних галузей застосування результатів дисертаційних досліджень. Відтак, створення оптичних обчислювальних систем є також досить актуальним завданням на сучасному етапі розвитку науки.

2. З дисертації та автореферату не зовсім зрозуміло, якою є потужність лазерного випромінювання, що збуджує поверхневу електромагнітну хвилю. Даний показник характеризує енергетичну ефективність створеного компонентного базису.

3. В дисертації та авторефераті немає даних про середовище, в якому здійснено імітаційне комп'ютерне моделювання. Присутні лише окремі згадки про систему Matlab.

4. Автору було би доцільно розглянути перспективи підсилення та подальшого передавання загасаючих плазмон-поляритонних хвиль оптичними методами, наприклад із використанням EDFA.

5. Автору доцільно було би розглянути можливості виготовлення «метал-діелектричних» структур з магніточутливими хімічними елементами по типу вісмуту для подальшого удосконалення запропонованої елементної бази.

6. На сторінках 38, 42, 43 дисертації виявлено орфографічні неточності, а по тексту роботи трапляються пунктуаційні огріхи.

Вважаю, що відзначені недоліки не мають принципового та вирішального значення щодо кваліфікаційної оцінки здобувача. Здобувач є зрілим науковцем, а його дисертаційна робота – завершеною науковою працею з перспективою розвитку.

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Невінського Д.В. «Дослідження і розроблення нанорозмірних структур на поверхневих плазмонах для пристроїв інфокомунікаційних систем» за змістом є завершеним науковим дослідженням, що містить нові науково-обґрунтовані результати, важливі на сучасному етапі та для перспективного розвитку галузі телекомунікацій та радіотехніки. Вона цілком відповідає положенням «Паспорту» спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі, становить розв'язок актуального наукового завдання розроблення та дослідження нанорозмірних структур на поверхневих плазмон-

поляритонах для підвищення швидкодії та пропускної здатності оптичних інфокомунікаційних систем. Робота містить результати складних та прецизійних експериментальних досліджень. Її результати є вагомим науково-прикладним вкладом у розвиток компонентної бази новітніх засобів телекомунікацій, систем оброблення інформації.

3. Автореферат повністю розкриває зміст та основні положення дисертації.

4. Результати роботи повністю опубліковано у 19 наукових працях, відповідно до вимог нормативно-правових актів Кабінету Міністрів України.

5. За науковим рівнем, практичною значимістю, рівнем апробації та опублікування дисертаційна робота відповідає вимогам положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, а її автор – Невінський Денис Володимирович –, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
засобів захисту інформації
Національного авіаційного
університету В.В. Козловський

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ * НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ * Ідентифікаційний код 01132330 * М. КИЇВ *

Підпис гр. Козловського В.В.
з а с в і д ч у ю
Вчений секретар
Національного авіаційного університету
Г. Ємчева