

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі наведено аналіз найпоширеніших напівпровідникових матеріалів. Визначено їх застосування, переваги та недоліки. Відзначено особливості їхнього застосування, зокрема встановлено найбільш перспективні напівпровідникові матеріали.

Ключові слова:

напівпровідники, хімічні елементи, електронні пристрої, матеріали напівпровідників, кремній, германій, арсенід галію, графен, дисульфід молібдену.

Abstract

The analysis of the most common semiconductor materials is presented in the work. Their applications, advantages, and disadvantages are determined. The features of their application are noted and the most perspective semiconductor materials are identified.

Keywords:

semiconductors, chemical elements, electronic devices, materials for semiconductors, silicon, germanium, gallium arsenide, and graphene.

Вступ

На сьогодні розвиток комп'ютерних технологій є важливим та часто вирішальним чинником успішності компаній, країн чи суспільств. На нього впливають багато чинників. Зростання виробничих потужностей, глобалізація та майже повна автоматизація всіх сфер людської діяльності постійно потребують більших швидкостей, продуктивності, точності та все нижчих затрат. Існують різноманітні можливості реалізації цих потреб, невід'ємними складовими яких є напівпровідники. Сучасні вимоги виробництва вимагають проведення аналізів та досліджень напівпровідникових матеріалів задля їхнього удосконалення та зменшення ціни виробництва. Проблемою сьогоднішніх напівпровідникових матеріалів є те, що вже не вдається значно збільшити потужність та швидкодію при суттєвому зменшенні форм-факторів компонентів апаратури. Тому є гостра необхідність у дослідженні та розробці нових матеріалів, що зможуть задовольнити потреби сьогодення.

Метою роботи є аналіз фізико-хімічних властивостей напівпровідникових матеріалів та перспективи їхнього використання на сьогодні.

Результати дослідження

На початку 70-х рр. XX ст. найбільш поширеним напівпровідником був германій (Ge). Германій – хімічний елемент під номером 32. Застосовується в радіоелектроніці й електротехніці, в ядерній техніці, приладобудуванні, машинобудуванні й металургії. Ширина забороненої зони кристалічного германію - 0,66 еВ. Основними донорами цього матеріалу є фосфор, літій, арсен; акцепторами — бор, алюміній, галій, індій. Германій — непрямозонний напівпровідник, що ускладнює його використання в оптичних пристроях. У деяких напівпровідникових приладах, що змінюють опір залежно від умов, використовуються сплави германію з кремнієм. Цей матеріал має високу мобільність носіїв заряду, дозволяє працювати в широкому діапазоні температур від -200°C до 1000°C. Також до переваг можна віднести високу чутливість до світла, що дозволяє його використання в сонячних батареях та інших

пристроях, які використовують світлову енергію. Але, незважаючи на велику кількість переваг, германій є дорогим матеріалом, а його виробництво вимагає складних технологій. Германій вступає в реакцію з киснем, що може призвести до зниження ефективності або повного виходу з ладу пристроїв. Хоча температурний режим експлуатації германієвих напівпровідників лежить в широкому діапазоні, він всеодно є чутливим до температурних змін. Германій має високу чутливість до радіації, що унеможлиблює його використання у відкритому космосі та у зонах з високою радіацією. Через високу ціну виробництва напівпровідників з цього матеріалу, низьку ефективність та здатність до окиснення, германій досить швидко почали замінювати кремнієм.

Одним з найпоширеніших напівпровідників на сьогоднішній день є кремній. Це елемент під номером 14 належить до 4-ї підгрупи 3-го періоду таблиці Менделєєва є непрямозонним напівпровідником з шириною забороненої зони 1,12 eV. Використання кремнію ефективне з економічної точки зору, оскільки на відміну від германію, напівпровідники з кремнію значно дешевші та дозволяють працювати з більш високими робочими частотами без окиснення. При цьому більшість недоліків компенсуються низькою вартістю матеріалу. Серед суттєвих недоліків кремнію варто зазначити чутливість до радіації та різкої зміни температури. Також проблеми виникають в процесі виробництва кремнієвих напівпровідників, оскільки виготовлення тонких шарів є високоточним та, відповідно, затратним процесом.

Окрім кремнію широкого застосування набув арсенід галію (GaAs). Це прямозонний напівпровідник із шириною забороненої зони 1,424 eV. Арсенід галію використовується для створення напівпровідникових пристроїв та багатошарових структур. Деякі його електронні властивості мають перевагу над кремнієм. Арсенід галію забезпечує більшу швидкість руху електронів, що дозволяє приладам працювати на високих частотах (до 250 ГГц) з меншим рівнем шуму, ніж прилади на основі кремнію. Арсенід галію використовується у приладах оптоелектроніки, а саме при виготовленні світлодіодів, лазерів, оптичних волокон тощо. Цей матеріал досить стійкий до радіації, що дозволяє використовувати його в сонячних батареях у відкритому космосі. Недоліками арсеніду галію є висока, порівняно з кремнієм, вартість та складність виробництва, що знижує ефективність його використання з економічної точки зору.

Крім відомих та поширених напівпровідникових матеріалів, таких як германій, кремній та арсенід галію, існує цілий ряд перспективних матеріалів, наприклад, графен та дисульфід молібдену.

Графен був відкритий у 2004 році, але дослідити та використати його можливості вдалося тільки у 2016 році. Графен – напівпровідник з шириною забороненої зони 0 eV. На основі графену вже створено надчутливі сенсори, що здатні до виявлення одного електрону. Цей матеріал використовується при створенні наноконденсаторів з великою ємністю. Також на його основі створюються експериментальні прозорі сенсорні екрани. Вдалими є перші спроби застосування графену в сфері медицини для лікування злоякісних пухлин. Перспективними є польові транзистори на основі графену від фірми ІВМ. Цей матеріал може використовуватись для виготовлення нанопроцесорів, які можуть вирішити більшість проблем пов'язаних з багатозадачністю, розмірами та обробкою великої кількості інформації. Також графен в перспективі міг би повністю замінити інші матеріали та стати універсальним напівпровідником, але на перешкоді стоїть відсутність забороненої зони, що робить вольт-амперну характеристику симетричною відносно нуля та ускладнює отримання логічних 0 та 1. Крім того, графен, як і кремній, реагує на радіацію, що унеможлиблює його використання в космічних проєктах.

Не поступається у перспективності графену дисульфід молібдену. Це прямозонний напівпровідник, двовимірний матеріал, який має високу електропровідність та міцність, а також може відбивати світло, що робить його корисним для створення електронних пристроїв з високою якістю зображення, таких як дисплеї. Ширина забороненої зони для масивного матеріалу становить 1.2 eV, а для одноатомного шару – 1.8 eV. Він також може бути використаний для створення більш ефективних сонячних батарей. Використання цього матеріалу створює можливість реалізації напівпровідників товщиною в один атом. Цей матеріал порівнюють з графеном, проте він досі залишається експериментальним.

Висновок

Проведено аналіз фізико-хімічних властивостей напівпровідникових матеріалів, таких як германій, кремній, арсенід галію, графен та дисульфід молібдену. Встановлено перспективи їхнього використання, зокрема найбільш перспективним є графен та, потенційно, дисульфід молібдену.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міністерство освіти і науки України Запорізька державна інженерна академія. Виробництво напівпровідникових матеріалів. URL:
https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/400023/mod_resource/content/1/КЛ_Виробництво%20напівпровідникових%20матеріалів.pdf
2. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів. О.М. Царенко. URL:
https://phm.cuspu.edu.ua/images/doc/navch_material/charenko/3.pdf

Книш Богдан Петрович – канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Наконечний Влас Володимирович – студент групи ЗПІ-22б, Вінницький Національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vlas.nak.05@gmail.com.

Knysh Bogdan P. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Vlas Nakonechnyi Volodymyrovych – student of ЗПІ-22b group, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlas.nak.05@gmail.com.