

ПЕРЕДМОВА

Основними чинниками, які визначають розвиток сучасної електроніки, є розроблення нових надчистих матеріалів, досконалої високопродуктивної технології і підготовка висококваліфікованих фахівців. Роль технолога в сучасній промисловості значно зросла, оскільки синтез нових матеріалів або вдосконалення наявних дають змогу розробляти прилади з унікальними характеристиками, які здатні істотно підвищити функційні можливості електронної апаратури. Підготовка фахівців для праці в галузі металургії і технології напівпровідників вимагає особливого підходу, зокрема врахування специфіки низки наукових напрямів, суміжних із цією галуззю: фізичної хімії, теорії хімічних і металургійних процесів, фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів тощо. Це передбачає ознайомлення студентів із багатьма загальними питаннями (характеристики напівпровідників, поняття про чистоту речовини, основні положення теорії процесів розділення і очищення хімічних речовин, властивості допоміжних матеріалів тощо). Всі ці питання розглядаються у цьому навчальному посібнику.

Ускладення виробництва, а також значне розширення номенклатури матеріалів вимагають від майбутніх інженерів у галузі електронної техніки поглибленого вивчення теоретичних основ технології. Це забезпечить успіх у створенні керованої технології, в прогнозуванні складу і властивостей напівпровідникових матеріалів. Теоретичні основи технології викладено разом з описом конкретних процесів отримання найважливіших напівпровідникових матеріалів.

Напівпровідникова електроніка розвивається так швидко, що технологічні процеси і відповідне устаткування швидко старіють. Тому акценти зроблено на загальні положення технології отри-

мання напівпровідникових матеріалів, які дають можливість виділити різні чинники, що впливають на перебіг і результати відповідних процесів.

Навчальний посібник складається з восьми розділів, які тісно пов'язані між собою. У *першому розділі* дано загальну характеристику та класифікацію чистих і надчистих речовин. У *другому розділі* розглянуто процеси розділення та очищення матеріалів. У *третьому розділі* описано основні процеси, які відбуваються в гетерогенних хіміко-технологічних системах: процеси масоперенесення, процеси теплоперенесення, хімічні процеси тощо. У *четвертому розділі* розглянуто фізико-хімічні основи процесів тверднення (гомогенне та гетерогенне зародкоутворення тощо), у *п'ятому розділі* – технологію отримання полікристалічних напівпровідникових матеріалів (германію, кремнію та сполук $A^{II}B^{VI}$ та $A^{III}B^V$). Процес отримання монокристалів напівпровідникових та діелектричних матеріалів описано в *шостому розділі* посібника. Питання розподілу домішок за методами спрямованої кристалізації висвітлено у *сьомому розділі*. Оскільки розвиток сучасної електроніки передовсім пов'язаний із нанотехнологіями і, відповідно, наноструктурами різного функційного призначення, що створюються із використанням і застосуванням таких технологій і покликані забезпечувати науково-технічний прогрес сьогодення, найближчого і, швидше за все, також і віддаленого майбутнього, у *восьмому розділі* розглянуто основи напівпровідникових нанотехнологій.

У навчальному посібникові детально розглянуто технологію отримання найпоширеніших напівпровідників: германію і кремнію. Крім цього, розглянуто властивості і методи отримання складних напівпровідників (сполук і твердих розчинів).

У кінці кожного розділу подано *контрольні запитання та завдання*, за якими студенти зможуть самостійно контролювати рівень засвоєння опрацьованого навчального матеріалу і краще зрозуміти різні проблеми і питання у їхньому взаємозв'язку, взаємозумовленості і взаємодоповнюваності.

Для ґрунтовнішого вивчення матеріалу посібник завершується бібліографічним списком навчальної і науково-технічної літератури. Зауважимо, що названі літературні джерела написано російською мовою, і багато з них стали бібліографічною рідкістю. Тому важливо підкреслити, що запропонований посібник написано державною мовою.

Лаконічність і одночасно повнота викладу, а також невеликий обсяг посібника полегшать засвоєння студентами матеріалу, передбаченого відповідними навчальними планами. Він буде корисним не тільки для студентів фізичних і технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а й для аспірантів, молодих науковців, а також викладачів цих і споріднених навчальних дисциплін. Обсяг посібника розраховано на те, щоб необхідний комплекс відомостей з технології напівпровідникових матеріалів студент міг опрацювати без додаткових посібників.

Навчальний посібник призначено для студентів базового напрямку 6.050801 “Мікро- та наноелектроніка”.

Він може бути корисним для студентів інших спеціальностей, а також аспірантів і наукових працівників, інтереси яких пов’язані з одержанням, дослідженням і практичним застосуванням напівпровідникових матеріалів.

*Мета та завдання дисципліни, її значення
для навчального процесу*

1.1. *Мета викладення дисципліни* – засвоєння студентами технологічних основ виробництва матеріалів напівпровідникової електроніки, основних технологічних процесів розділення та очищення матеріалів, технологічних процесів синтезу монокристалічних та полікристалічних напівпровідникових матеріалів германію, кремнію, сполук $A^{II}B^{VI}$ і $A^{III}B^V$.

1.2. *Завдання вивчення дисципліни* – засвоєння принципів дії технологічного обладнання, ознайомлення з властивостями основних і допоміжних матеріалів, а також одержання навичок аналізу і розроблення технологічних процесів і схем виготовлення напівпровідникових матеріалів, проведення розрахунків щодо обґрунтування найважливіших технологічних операцій.

У результаті вивчення дисципліни фахівець повинен знати:

- теоретичні основи розділення та очищення напівпровідникових матеріалів, методів і технологічних схем вирощування напівпровідникових матеріалів;
- основні технологічні процеси і методи розрахунку основних технологічних параметрів;
- методи розрахунку параметрів технологічного процесу;
- методи розрахунку параметрів монокристалічних кристалів.

Підготовлений фахівець повинен вміти:

- розробити технологічний маршрут очищення та розділення напівпровідникових матеріалів;
- аналізувати фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час виробництва основних напівпровідникових матеріалів;
- вибрати напівпровідниковий матеріал та обґрунтувати технологічний маршрут виготовлення напівпровідникового матеріалу із заданими властивостями;
- розрахувати режими технологічних процесів виробництва напівпровідникових полі- та монокристалів;
- удосконалювати технологічний маршрут виробництва напівпровідникових матеріалів електроніки від вимог до готового продукту.

ВСТУП

Прогрес сучасної науки і техніки нерозривно пов'язаний з розвитком і вдосконаленням технології отримання традиційних напівпровідникових матеріалів та розробленням і вдосконаленням нових перспективних напівпровідників.

Технологія – це сукупність знань про способи переробки матеріалів або виробів і про методи здійснення технологічних процесів. Технологія напівпровідникових кристалічних матеріалів – результат матеріалознавчих досліджень, які охоплюють положення не однієї, а кількох наукових дисциплін.

Спочатку металургія і технологія напівпровідників були тісно пов'язані з металургією і технологією металів. Напівпровідники отримували за найрізноманітнішими методами одержання металів. Згодом з'явилася низка нових, специфічних методів. У сукупності з розробленою системою прецизійного здійснення металургійних і хіміко-технологічних процесів, доповненою спеціальними прийомами поводження з високочистими речовинами, до яких належать напівпровідникові матеріали, вони створили новий фізико-хімічний і технологічний напрям – металургію і технологію напівпровідників.

Технологія напівпровідникових матеріалів з'явилася одночасно з появою перших твердотільних приладів, і її розвиток відображає розвиток напівпровідникового приладобудування. Спочатку технологія напівпровідникових матеріалів охоплювала операції отримання високочистих полікристалічних напівпровідників і вирощування легованих монокристалів, які і були кінцевою продукцією напівпровідникового виробництва.

На цей час створено нові напрями розвитку напівпровідникового матеріалознавства. Це технологія нових напівпровідникових матеріалів, наприклад, сполук груп $A^{II}B^{VI}$ і $A^{III}B^V$, твердих розчинів на їх основі, технологія різного роду сендвіч-структур типу метал – діелектрик – напівпровідник (МДН), метал – діелектрик – метал (МДМ). Загальна кількість напівпровідникових матеріалів, які одержують у лабораторіях або в дослідно-промис-

ловому виробництві, перевищує сотню. Проте кількість серійно вироблюваних напівпровідників невелика – не більше десяти. До них належать передусім кремній, світове виробництво якого обчислюють тисячами тонн щорічно, германій і арсенід галію (десятки тонн щорічно), а також напівпровідникові сполуки, наприклад фосфід галію, арсенід і фосфід індію. З практичного погляду цікаві напівпровідникові наноструктури, що дають змогу створювати прилади нового типу, які функціують за квантовими розмірними ефектами. Актуальними залишаються питання отримання чистих речовин і досконалих монокристалів, що є основою сучасного електронного приладобудування.

Описати детально всі технологічні прийоми, які використовують під час виготовлення матеріалів для електронної техніки, в одному курсі навряд чи можливо і доцільно, принаймні, через доволі швидке удосконалення технології. Відомості про способи одержання того чи іншого конкретного напівпровідника можна отримати зі статей, довідників, монографій тощо. Проте існують деякі загальні закономірності технологічних процесів виробництва різних напівпровідникових матеріалів. Це дає змогу об'єднати способи одержання різних напівпровідників у типові технологічні методи, виділити найпоширеніші і детально їх проаналізувати.