

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПУЧКА НА ПОВЕРХНОСТЬ*

А.И. Иванова, Г.А. Блейхер, Д.О. Вахрушев, О.С. Корнева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Методы модификации поверхностных и приповерхностных слоев материалов и покрытий ионными пучками находят применение во многих областях науки и техники. Метод высокоинтенсивной имплантации пучками ионов высокой плотности мощности субмиллисекундной длительности предполагает значительный импульсный разогрев приповерхностного слоя облучаемой мишени с последующим быстрым его охлаждением за счет отвода тепла внутрь материала благодаря теплопроводности и реализацию импульсно-периодической радиационно-усиленной диффузии атомов на глубины, превышающие проективный пробег ионов. Численным моделированием исследуется динамика изменения температурных полей в пластине кремния при одноимпульсном и импульсно-периодическом воздействиях пучков ионов субмиллисекундной длительности с импульсной плотностью мощности до 10^9 Вт/м². Определены условия, при которых в ионно-легируемом слое значение температуры будет соответствовать условиям радиационно-стимулированной диффузии имплантируемого элемента, а температура в матричном материале не приведет к ухудшению его микроструктуры и свойств.

Ключевые слова: математическое моделирование, температурные градиенты, низкоэнергетический ион, высокоинтенсивная имплантация, кремний.

Введение

Импульсные ионные пучки различной мощности находят широкое применение в исследованиях по модификации поверхностных свойств материалов методами ионной имплантации, ионно-плазменного осаждения покрытий и энергетического воздействия на поверхность.

Ионная имплантация является важным инструментом для модификации поверхностей широкого круга материалов для значительного спектра применений в областях фундаментальных исследований и прикладных технологий [1–4]. Облучение высокоинтенсивными пучками ионов низкой энергии может быть использовано в качестве потенциального метода для создания глубоких ионно-легированных приповерхностных слоев по сравнению с традиционными методами имплантации. Этот метод основан на использовании ионных пучков высокой интенсивности с плотностями тока, достигающими нескольких десятков или даже сотен мА/см². Такая высокая плотность тока приводит к радиационно-усиленной диффузии имплантируемых атомов и при одновременном повышении температуры облучаемого материала. Это обеспечивает формирование протяженных ионно-легированных слоев с толщиной от нескольких единиц до десятков и даже сотен микрометров [5, 6].

Метод высокоинтенсивной имплантации ионов сверхнизкой и низкой энергии имеет хорошие перспективы технологического использования применительно к формированию протяженных слоев, легированных ионами, имеющими малый радиус и обладающими высоким коэффициентом диффузии. Однако во многих практических применениях для формирования глубоких ионно-легированных слоев при высокоинтенсивной имплантации ионов требуется нагрев обрабатываемого изделия до температур, при которых наблюдается ухудшение микроструктуры. В этой связи необходим другой подход, при котором приповерхностный слой обрабатываемого изделия будет ионно-модифицирован при облучении, а основная часть материала не подвергнется воздействию высоких температур. Такой метод можно реализовать за счет синергии высокоинтенсивной ионной имплантации, обеспечивающей ионное легирование металлов и сплавов на глубинах, на порядки превышающих проективные пробеги ионов за счет радиационно-усиленной диффузии атомов, и импульсно-периодического энергетического воздействия на приповерхностный слой, способствующего управляемому изменению структурно-фазового состояния ионно-легированных слоев с сохранением структуры и свойств матричного материала [7]. Для реализации метода высокоинтенсивной имплантации ионов с одновременным энергетическим воздействием на приповерхностный слой предполагается использовать импульсный или импульсно-периодический пучок

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10061, <https://rscf.ru/project/22-79-10061/>.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>