

УДК 533.93:537.525

DOI: 10.17223/00213411/63/10/54

*А.И. РЯБЧИКОВ, А.Э. ШЕВЕЛЕВ, Д.О. СИВИН, С.В. ДЕКТЯРЕВ, О.С. КОРНЕВА***ФОРМИРОВАНИЕ, ФОКУСИРОВКА И ТРАНСПОРТИРОВКА ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ ***

Высокоинтенсивная имплантация низкоэнергетических ионов в различные материалы демонстрирует возможность образования протяженных, легированных ионами слоев толщиной десятки и даже сотни микрометров. Глубокое проникновение легирующей примеси достигается, в первую очередь, за счет усиленной радиационно-стимулированной диффузии ионов при сверхвысоких плотностях тока и флюенсах облучения до 10^{20} – 10^{22} ион/см², когда коэффициент диффузии может на несколько порядков превышать классический, выведенный из теории Аррениуса. Однако генерация низкоэнергетических ионов со средней энергией в доли и единицы килоэлектронвольт при высоких плотностях тока, достигающих нескольких сотен мА/см², и их эффективная транспортировка являются нетривиальными задачами. Исследовано формирование баллистически сфокусированных высокоинтенсивных импульсных ионных пучков при ускоряющих напряжениях до 2 кВ, длительности импульсов до 800 мкс и коэффициентах заполнения импульсов, достигающих 0.8, и их распространение через предварительно инжектированную фоновую плазму низкой плотности.

Ключевые слова: формирование пучка ионов, плазма вакуумной дуги, ионная имплантация.

Введение

Ионные пучки широко используются как в научно-технических задачах, так и в исследованиях базовой структуры материи [1–3] и термоядерном синтезе [4, 5], нанотехнологиях [6–9] и даже в пищевой промышленности [10]. Одно из важнейших технологических применений ионов связано с возможностью их имплантации в твердые тела. Воздействие ионного пучка может привести к значительному изменению элементного и фазового состава, образованию неравновесных структур и, как следствие, к радикальному изменению исходных свойств материала [11–13].

На сегодняшний день разработано несколько основных подходов к ионной имплантации, отличающихся принципами формирования и ускорения ионного потока [14, 15]. Традиционный метод ионной имплантации связан с формированием ионных пучков в ускорителях с многоапертурными сеточными системами и обычно называется лучевой ионной имплантацией [16–19]. К преимуществам метода можно отнести возможность формирования ионных пучков с высокими энергиями, обеспечивающими значительные проективные пробеги в веществе. Одновременно при облучении в режиме имплантации ионов основные трудности связаны с необходимостью разработки сложной системы движущихся и вращающихся образцов для обеспечения их однородного легирования.

В последние десятилетия активно разрабатывается альтернативный подход к формированию ускоренных ионных потоков, называемый плазменно-иммерсионной ионной имплантацией [20–24]. Подход основан на принципе ускорения ионов в высоковольтном слое разделения зарядов, который образуется при приложении отрицательного потенциала к мишени, погруженной в плазму. Тот факт, что ускорение ионов от плазменно-эмиссионной границы происходит по нормали в каждой точке поверхности, привел к развитию плазменно-иммерсионной ионной имплантации, которая используется при обработке трехмерных (3D) изделий и, например, в полупроводниках для современных Финфет-структур [25]. На сегодняшний день как лучевые, так и плазменно-иммерсионные методы имплантации широко используются в полупроводниковой промышленности и имеют свои специфические области применения.

Однако развитие метода ионной имплантации для модификации неполупроводниковых материалов привело к необходимости существенного увеличения флюенсов ионного облучения. На основании теоретических и некоторых экспериментальных прогнозов о возможности значительного увеличения глубины модификации металлов и сплавов с использованием сильноточных ионных пучков с плотностью ионного тока в единицы мА/см² [26–28] был предложен и реализован

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-19-01169-П).

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>