

## **НЕКОТОРЫЕ МОДЕЛИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И МЕХАНИЗМЫ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ**

*Г. Р. Рахимова*

*Теоретический отдел, Институт электроники им. У.А.Арифова АН РУз.,*

*700125, ул. Ф.Ходжаева 33, Ташкент, Узбекистан, [gulsarar@mail.ru](mailto:gulsarar@mail.ru)*

При высоких дозах и различных температурных режимах имплантации, приводящих к металлургическим эффектам, существенную роль играют вторичные процессы (ВП): накопление вторичных дефектов, диффузия, поверхностные термо- и ионно-стимулированные реакции и “загрязнения”, формирование и рост выделений или слоёв новых фаз, синтез химических соединений, возникновение и перераспределение напряжений и т. п. Во многих случаях именно их проявлением удаётся объяснить эффекты изменения свойств материалов, в том числе на глубинах, существенно превышающих глубину внедрения ионов. Влияние ВП особенно возрастает при имплантации подвижных, химически активных элементов, таких как азот, бор, углерод и т.п. В связи с этим при разработке соответствующих моделей и механизмов модификации свойств особое внимание уделялось учёту вторичных процессов [1,2]. Проведено теоретическое изучение влияния режимов и условий ионной имплантации (ИИ) на распределение и удержание подвижных примесей с учётом таких сопутствующих имплантации процессов, как распыление поверхности, диффузия примеси и поверхностные реакции. При этом учитывались кинетика и скорость как термо-, так и ионно-стимулированных реакций. Полученное общее решение задачи и разработанный на его основе пакет программ для ПЭВМ позволили провести расчёты профилей концентрации, температурных и дозных зависимостей в широком диапазоне режимов имплантации:  $E=(1 - 100)$  кэВ,  $\Phi=(4 \cdot 10^{16} - 4 \cdot 10^{18})$  см<sup>-2</sup>,  $q=10^{13} - 10^{15}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>,  $T=(20 - 500)^{\circ}\text{C}$ , реализуемых в эксперименте.

В последние годы интенсивно обсуждается вопрос об условиях и закономерностях формирования таких специфических проповерхностных слоёв и их относительном влиянии на модификацию механических свойств и коррозионной стойкости облучённых материалов по сравнению с эффектами собственно имплантации. Влияние загрязнений может быть многообразным – наряду с проявлением собственных механических или физико-химических свойств таких слоёв они могут способствовать перераспределению

имплантируемой примеси и изменению дозы имплантации, стимулировать различного рода фазовые превращения с участием как внедряемого, так и “загрязняющих” элементов. Исходя из этого, дальнейшее развитие модели учитывало образование и рост слоёв “загрязнений”, т.е. приводило к задаче о внедрении подвижной примеси в слоисто-неоднородную мишень с перемещающимися границами /1/. Детально рассмотрены различные варианты происходящих процессов. Рассчитано перераспределение примеси при “нарастании” слоёв углеродных загрязнений в результате ионно-стимулированной диссоциации паров углеводородов из масла диффузионных насосов, выявлены возможности достижения стационарного состояния при окислении или карбонизации облучаемой поверхности и связанные с этим изменения предельной дозы имплантации. Выявленные тенденции проиллюстрированы на примеси внедрения водорода и азота в железо. Показано, что наибольший диапазон изменения предельной дозы при наличии загрязнённых или разупорядоченных приповерхностных областей возможен для газовых или летучих в условиях эксперимента примесей. Для примесей любой природы, в том числе и нелетучих, снижение скорости распыления “загрязнённой” поверхности относительно исходной приводит к увеличению дозы имплантации и её предельного значения. В связи с этим нарастание (или специальное нанесение на поверхность) углеродных плёнок, имеющих малый коэффициент распыления относительно многих металлов, может способствовать высокодозному внедрению и достижению требуемой стехиометрии в приповерхностной области мишени. (Отметим, что сходными возможностями повышения дозы имплантации из-за преодоления ограничений, обусловленных распылением, обладает метод динамического возобновления поверхности в процессе внедрения – один из вариантов конденсации тонких плёнок с одновременным ионным облучением).

Одним из наиболее эффективных механизмов модификации свойств облучённых материалов является, безусловно, упрочнение приповерхностной области в результате фазовых превращений. Формирование преципитатов или выделений новых фаз лежит в основе хорошо известного и широко используемого в традиционной металлургии процесса дисперсионного упрочнения. Как было уже отмечено, имеются многочисленные экспериментальные подтверждения связи структурно-фазовых

превращений с модификацией свойств металлов и конструкционных материалов на их основе. Ещё более сильного изменения комплекса механических, коррозионных и других физико-химических свойств можно ожидать в результате формирования и роста слоёв новых фаз при ИИ. Например, известно, что нитриды переходных металлов отличаются высокой твёрдостью и износостойкостью, обладают повышенной коррозионной стойкостью в различных газовых атмосферах и коррозионных средах.

В связи с этим теоретически разрабатывались некоторые модели структурно-фазовых превращений, а также образования и роста слоёв новых фаз при ионном и ионно-плазменном воздействии на поверхность [1,2]. Получено аналитическое квазистационарное решение в асимптотическом приближении, описывающее процесс роста упрочнённого приповерхностного слоя с образованием сферических выделений новой фазы на равномерно распределённых объёмных дефектах. Решение позволяет рассчитать временные и температурные зависимости толщин слоёв и скорости роста слоя с выделениями новой фазы, распределения примеси по глубине и изменение размеров сферических преципитатов с толщиной слоя. Результаты позволяют объяснить, а в отдельных случаях и предсказать существенное снижение температуры фазовых превращений при ИИ, а также условия реализации двух рассмотренных механизмов упрочнения: твёрдорастворного и с выделениями (преципитатов) новых фаз, т.е. дисперсионного твердения. Обнаруженная характерная особенность – резкий излом концентрационного профиля на глубине равной полной толщине слоя содержащего преципитаты, может служить основой для выявления приповерхностного слоя с выделениями новых фаз и определения его толщины.

Попытки разработки модели образования слоя новой фазы при высокодозной имплантации с последующим отжигом относятся в основном к созданию на поверхности окиси кремния [3-5], т.е. к примеру интересному и весьма актуальному для микроэлектроники. В более общем случае на поверхности может формироваться область, состоящая из последовательности нескольких фаз. Разработка модели образования такой многофазной области при ионно-плазменном воздействии на поверхность, учитывающей как диффузионно-контролируемые объёмные, так и ионно-стимулированные поверхностные процессы позволила получить результаты по кинетике

и скорости роста различных фаз, а также определения их предельных толщин хорошо согласующиеся с экспериментом.

В дальнейшем необходимо теоретическое изучение таких важных аспектов, как возникновение и перераспределение напряжений, образование, распространение и закрепление дислокаций, что рассмотрено на сегодняшний день крайне ограниченно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рахимова Г.Р., Раджабов Т.Д. // Тезисы докладов III Республиканской конференции по физической электронике. Ташкент. 2002. С.81.
2. Рахимова Г.Р., Раджабов Т.Д. // Материалы XVI Международной конференции по взаимодействию ионов с поверхностью. Москва. 2003. Т.2. С.71-75.
3. Krautle R. //Nucl.Instr.Meth. 1976. V. 134. P. 167-172.
4. Kreissig V., Hensel E., Skorupa W. et all. // Thin Solid Films. 1985. V. 123. P. 159-165.
5. Буренков А.Ф., Комаров Ф.Ф., Федотов С.А. // Поверхность. 1990. N5. С. 75-81.