

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ОТЖИГ ДЕФЕКТОВ

М.А. К у м а х о в

В последние годы в полупроводниковой технологии начинает широко использоваться импульсный отжиг дефектов, в частности, импульсный лазерный отжиг (см., например, [1]). Этот метод основан на тепловом воздействии лазерного излучения на материал.

В работе [2] был предложен, а в [3] - реализован метод фокусировки рентгеновского излучения. На существующих импульсных источниках рентгеновского излучения (импульсные рентгеновские трубки, плазменные и лазерные источники рентгеновского излучения), используя метод [2], можно получать потоки рентгеновского излучения в широком интервале 10^4 - 10^{10} Вт/см² при измерении длительности импульсов от десятков микросекунд до долей наносекунд.

Это дает широкую возможность воздействия на поверхность материала. При плотностях $\sim 10^6$ Вт/см² и энергиях фотонов ~ 1 кэВ тепловое рентгеновское воздействие на поверхность будет близким к воздействию лазерного излучения, т. е. будет приводить к отжигу дефектов. Однако, в отличие от лазерного излучения, благодаря высокой селективности рентгеновского излучения в зависимости от материала и энергии фотонов, добавляются новые возможности. В частности, возможен прогрев не только приповерхностных слоев ~ 0.1 микрона, но и более глубоких слоев вплоть до нескольких микрон (в зависимости от энергии в импульсе и энергии фотона).

Так как поглощаемая энергия очень резко зависит от атомного номера материала, появляется возможность селективного воздействия на многослойные структуры, состоящие из чередующихся легких и тяжелых материалов.

Имеется широкая возможность изменения размера рентгеновского пятна, глубины выделения энергии, длительности импульса, плотности выделяемой энергии.

В ряде случаев возможно сильное воздействие на „захороненные“ в глубине материала тяжелые имплантированные слои, практически не оказывая никакого воздействия на поверхность материала.

Интересным представляется очистка поверхности от тяжелых примесных атомов, создание плазмы вблизи поверхности при больших плотностях рентгеновского излучения и т. д.

В плазме будет формироваться поток ионов с разной степенью обдирки, который может представлять интерес как источник для ряда задач.

Воздействие мощных рентгеновских пучков на поверхность приведет к ее модификации, созданию аморфных слоев из кристаллических и наоборот, существенному изменению электронной структуры поверхностных слоев.

При рентгеновском облучении важную роль будут играть оже-электроны и фотоэлектроны. Энергия последних близка к энергии фотонов. При энергиях фотонов \sim десятка кэВ пробег фотоэлектронов в легких мишенях будет приближаться к 1 микрону. Поэтому будет происходить мгновенный (за время $\sim 10^{-13}$ с) прогрев поверхностного слоя толщиной порядка пробега фотоэлектронов. При лазерном воздействии соответствующая область $\sim 100 \text{ \AA}$.

В дальнейшем из-за теплопроводности будет происходить прогрев поверхности толщиной $\Delta \approx (\kappa \tau)^{1/2}$, где κ - коэффициент температуропроводности. Для большинства металлов $\kappa \approx 1 \text{ см}^2/\text{с}$. Поэтому прогрев поверхности толщиной ~ 1 микрон за счет теплопроводности будет происходить за время $\tau \sim 10^{-8}$ с. Отсюда видно, что при малых длительностях импульса, тепловой прогрев поверхности существенно различен для рентгеновского и лазерного излучения.

Плотные и мощные рентгеновские пучки могут открыть новые возможности для модификации поверхности.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Физические процессы в облученных полупроводниках / Под редакцией Л.С. Смирнова), Новосибирск: Наука, 1977.
- [2] К у м а х о в М.А. Излучение каналированных частиц в кристаллах, М.: Энергоатомиздат, 1986.
- [3] А р к а д ь е в В.А., К о л о м и й ц е в А.И., К у м а х о в М.А. и др. // УФН. 1989. Т. 157. С. 529.

Поступило в Редакцию
4 июля 1989 г.