

05.3; 06.1; 12

© 1992

РЕГИСТРАЦИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ПОЛУПРОВОДНИКЕ, ПРОИСХОДЯЩИХ
ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ НАГРЕВЕ

Г.Д. И в л е в

Одним из методов исследования фазовых переходов, вызываемых импульсным нагревом поверхности полупроводников лазерным излучением, является оптическое зондирование облучаемой зоны. О динамике воздействия лазерного импульса часто судят по изменению отражательной способности полупроводника [1]; ее скачкообразное возрастание до квазистационарного максимума, в частности при наносекундном лазерном отжиге имплантированного кремния, свидетельствует о появлении расплава, а последующее уменьшение — о завершении жидкофазной кристаллизации. В некоторых случаях, например, когда на поверхность образца нанесена металлическая пленка, зафиксировать плавление полупроводника под ней обычным зондированием на отражение, очевидно, не представляется возможным. Информация об изменении отражательной способности зоны облучения требует специального рассмотрения, если импульсный нагрев поверхности образца производится в окружении жидкости (воды [2]), изменение агрегатного состояния которой в приграничном слое влияет на отражение зондирующего пучка. В данной работе показано, что в подобной экспериментальной ситуации стадию существования расплава можно контролировать зондированием полупроводниковой пластины с обратной стороны, где состояние приграничного слоя воды остается неизменным.

Суть эксперимента состояла в установлении взаимосвязи между временными зависимостями отражения зондирующего излучения от поверхности кремния и от границы раздела расплав — кристалл. Поэтому наносекундные лазерное облучение пластины полупроводника проводилось как в воде, так и в обычных условиях. Диаметр зоны облучения составлял несколько миллиметров, длительность импульса рубинового лазера — 70 нс, длины волн зондирующего излучения — 0.53 и 1.06 мкм [3]. На обратную поверхность некоторых образцов толщиной 200 мкм из монокристаллического кремния было нанесено просветляющее покрытие (SiO_2) с тем, чтобы уменьшить вклад этой поверхности в отражение зондирующего пучка с $\lambda = 1.06$ мкм, направляемого через объем образца на границу раздела расплав—кристалл. Зондирующее излучение фокусировалось в пятно ~ 1 мм в центральную область зоны облучения (угол падения 30°) и регистрировалось фотоумножителями типа ЭЛУ-ФТК и ЭЛУ-ФТС, связанными со входами двухлучевого запоминающего осциллографа

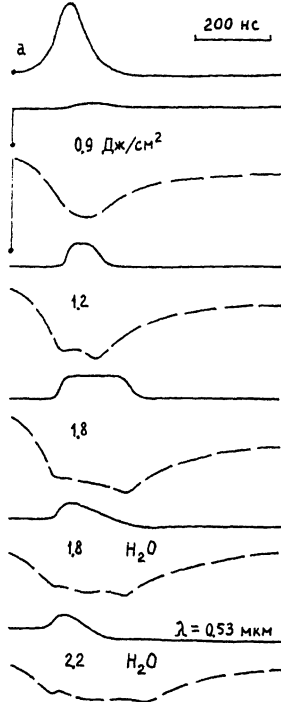


Рис. 1. Осциллограммы лазерного импульса (а) и отражения зондирующего излучения с $\lambda = 1.06$ мкм, направляемого на обратную сторону (пунктир) и непосредственно на облучаемую поверхность пластины кремния, находящейся в воздухе и в воде.

С8-14. Для облучения в дистиллированной воде образец помещался в заполненную ею стеклянную кювету, в которой расстояние между внутренними поверхностями передней и задней стенок составляло 1 см.

При облучении образцов в воздухе с плотностью энергии в импульсе W ниже порога плавления ~ 1 Дж/см² наблюдается обратимое уменьшение отражения, если зондирующее излучение направляется с обратной стороны пластины (рис. 1), что связано с нагревом кремния и уменьшением ширины запрещенной зоны, а также вкладом поглощения на неравновесных носителях заряда, образующихся вследствие внутреннего фотоэффекта. Увеличение W приводит к образованию расплава и, соответственно, к возрастанию отражательной способности облучаемой поверхности, а на осциллограммах отражения зондирующего излучения, направляемого с обратной стороны образца, появляется квазилинейный участок, совпадающий по длительности с временем существования жидкой фазы. Длительность этого участка меняется в зависимости от W так же, как и

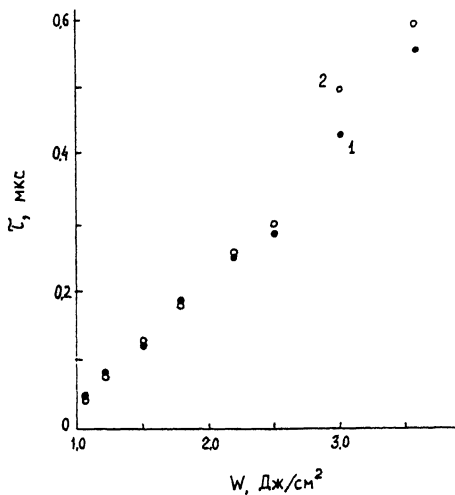


Рис. 2. Экспериментальные зависимости времени существования расплава от плотности энергии, полученные при лазерном облучении кремния в воздухе (1) и в воде (2).

продолжительность повышенной отражательной способности поверхности кремния. Именно это обстоятельство позволяет заключить, что определение временного интервала между моментами изменения характера временной зависимости отражения, когда зондирующее излучение направляется с обратной стороны, адекватно измерению продолжительности существования расплавленного слоя. Подчеркнем также, что указанные моменты времени соответствуют началу возрастания отражательной способности поверхности Si и ее уменьшению до исходного значения к моменту завершения кристаллизации жидкой фазы.

Помещение образца в воду приводит к искажению временной зависимости отражения от зоны облучения. Развивающиеся в приграничном слое воды тепловые процессы, образование паровой прослойки с неровной границей раздела жидкость-пар обуславливают, вероятно, рассеяние зондирующего излучения и интенсивность пучка, попадающего в апертуру фотоприемника, уменьшается. Эффект выражен сильнее при зондировании на $\lambda = 0.53$ мкм. В обоих случаях фиксируется лишь появление расплава, приводящее к начальному возрастанию отражения, более значительному на $\lambda = 1.06$ мкм. Проследить всю стадию фазовых переходов, в особенности на $\lambda = 0.53$ мкм, таким образом, не удастся, если зондирующее излучение направляется непосредственно в зону воздействия лазерного импульса, тогда как зондирование образца с обратной стороны позволяет фиксировать как начало плавления кремния, так и окончание кристаллизации.

Полученные в эксперименте данные свидетельствуют о том, что времена существования расплава при облучении кремния в обычных условиях и в водной среде, измеренные при одинаковой плотности энергии падающего лазерного излучения, различаются незначительно (рис. 2); в равной мере это относится к пороговым значениям W , при которых достигается плавление поверхности Si . От границы разедла $Si - H_2O$, однако, отражается падающего лазерного излучения примерно в 1.5 раза меньше, чем от поверхности кремния в воздухе (соответственно 0.21 и 0.32 до начала плавления). Отсюда следует, что энергозатраты на нагрев и плавление полупроводника в воде на $\sim 15\%$ выше, чем в воздухе, вследствие дополнительного теплоотвода. По имеющимся в литературе данным [3], теплоотвод в приграничный слой воды на стадии остывания Si приводит к повышению скорости кристаллизации расплавленного слоя, которая может быть на 30% больше, чем при лазерном нагреве поверхности полупроводника в обычных условиях.

Проведенное исследование, как можно заключить, расширяет возможности метода оптического зондирования при экспериментальном исследовании тепловых процессов, протекающих в полупроводниках под действием импульсного лазерного излучения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Карпов С.Ю., Ковальчук Ю.В., Погорельский Ю.В. Итоги науки и техники. Сер. Физические основы лазерной и пучковой технологии. М.: ВИНТИ, 1988. Т. 1. С. 5-48.
- [2] Polman A., Sinkel W., Saris F.W., Uttormark M.J., Thompson M.O. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 7. P. 535-537.
- [3] Ивлев Г.Д., Малевич В.Л. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15, № 12. С. 2584-2586.

Институт
электроники
АН Беларуси

Поступило в Редакцию
24 декабря 1991 г.