

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

П. В. Базакуца, А. М. Прохоров, В. А. Сычугов, А. В. Тищенко, Состояние поверхности германия и ее реакция на воздействие мощного лазерного излучения, *Письма в ЖТФ*, 1983, том 9, выпуск 9, 541–545

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.83

24 марта 2025 г., 22:24:56



СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ГЕРМАНИЯ  
И ЕЕ РЕАКЦИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ  
МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯП.В. Б а з а к у ц а, А.М. П р о х о р о в,  
В.А. С ы ч у г о в, А.В. Т и ш е н к о

В процессе изучения лазерного отжига различных материалов было выявлено образование периодических структур на поверхности облучаемых образцов. Наиболее детально связь параметров этих структур с характеристиками лазерных пучков, используемых при отжиге, была прослежена на полупроводниковых материалах, в частности на германии. В настоящее время установлено, что появление периодических структур на поверхности полупроводников обусловлено интерференцией падающей волны и возбуждаемой ею поверхностной электромагнитной волны (ПЭВ), распространяющейся вдоль границы раздела воздух-полупроводник [1, 2]. Однако механизм возникновения, роста и распада периодических структур до сих пор остается неясным.

Для того чтобы выявить влияние состояния поверхности на процесс образования решетки на поверхности германия при облучении ее мощным лазерным излучением, нами был приготовлен ряд образцов, поверхность которых подвергалась различным видам обработки. В первой серии опытов сравнивались зависимости дифракционных эффективностей возникающих решеток от времени облучения поверхности двух полированных в едином блоке образцов, один из которых подвергался бомбардировке ионами  $Ar$  с энергией 120 кэВ (доза  $10^{15}$  см<sup>-2</sup>). Средняя мощность излучения лазера ЛТИПЧ ( $\lambda=1.06$  мкм) во всех экспериментах сохранялась на одном уровне  $\sim 50$  мВт. Эти зависимости приведены на рис. 1, а и в поясняющей его таблице. Как видно из рисунка, скорость образования решетки и скорость ее распада на обработанном ионами аргона образце выше, чем просто полированном образце. Чтобы понять это различие, обратимся к механизму возникновения решеток на германии. Как уже отмечалось, решетка на поверхности германия — это результат интерференции падающей волны и возбуждаемой ею ПЭВ. ПЭВ на границе раздела двух сред (воздух-полупроводник) возбуждается в том случае, если  $Re \epsilon$  ( $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость) полупроводника становится отрицательной. При облучении полупроводника это состояние достигается за счет металлизации его поверхности. Наиболее вероятной причиной такой металлизации является плавление тонкого слоя полупроводника. Как уже отмечалось ранее [2], глубина решетки по мере увеличения числа лазерных импульсов растет, достигает некоторого максимума (500–600 Å), а затем падает. Факт увеличения глубины периодической структуры от импульса к импульсу свидетельствует о том, что расплавленный слой полупроводника на его поверхности

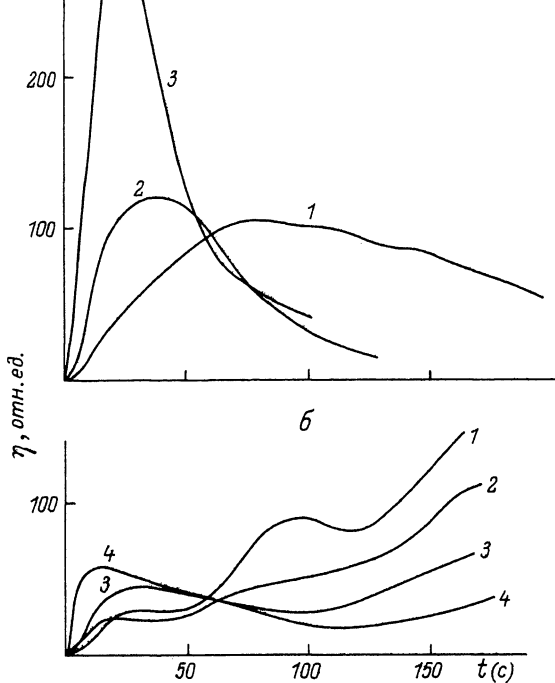


Рис. 1. а) Зависимости дифракционной эффективности решетки от времени экспозиции  $\eta(t)$  для полированного образца (1), обработанного ионами  $Ar$  (2) и для скола германия (3). б) Зависимости  $\eta(t)$  для полированного образца (1), обработанного ионами  $Ar$  после травления (2), полированного (3) и протравленного образцов после ультразвуковой очистки (4).

Обработка поверхности	Интенсивность рассеянного света, отн. ед.
Полировка	1
Имплантация $Ar$	1.2
Травление	1.4
Имплантация + травление	1.4
Ультразвуковая чистка	1.7
Травление + ультразвук	1.7
Напыление пленки $Ge$	0.7

не может превышать предельной глубины решетки. В работе [3] на основе представления о возбуждении и интерференции ПЭВ с падающей волной показано, что оптимальная толщина расплавленного, т.е. жидкого слоя германия должна составлять 100 Å, что вполне согласуется с фактом „накопления” глубины решетки. Как отмечалось авторами работы [3], механизм, рассмотренный ими, не объясняет образование остаточной решетки, хотя в экспериментах обычно исследуются именно остаточные решетки. Для того чтобы объяснить появление остаточной решетки, рассмотренный в [3] механизм возникновения периодических структур необходимо дополнить вполне естественным представлением о том, что свойства приповерхностного слоя любого твердого тела заметным образом отличаются от его свойств в объеме. Прежде всего таким свойством является плотность вещества, которая у приповерхностного слоя в результате обработки поверхности может быть ниже, чем в объеме. Так как во время лазерного импульса возникает тонкий жидкий слой, модуляция границы жидкость-твердое тело и (как следствие этого) модуляция границы воздух-жидкость, то в силу того, что после лазерного импульса и перехода жидкости в твердое вещество это твердое вещество приобретает плотность, равную плотности вещества в объеме, объем расплавленных во время импульса участков приповерхностного материала после остывания станет меньше, а это в свою очередь приведет к появлению остаточной решетки. На рис. 2, а представлена схема образования гофра на поверхности полупроводника. Если во время импульса гофрировка поверхности является результатом различия плотностей твердой и жидкой сред вещества, то после него это результат различия плотностей твердой фазы в объеме и в приповерхностном слое. В рамках изложенного выше механизма такое допущение естественно приводит к появлению остаточной решетки, ее росту и распаду с увеличением числа импульсов облучения. Распад решетки будет результатом сглаживания пространственной (вдоль поверхности) модуляции плотности вещества в приповерхностном слое. Возвращаясь к нашему эксперименту, нетрудно понять его результат на основе изложенного здесь механизма, если учесть, что внедрение ионов аргона в приповерхностный слой германия делает его рыхлым. Для подтверждения правильности наших представлений нами были выполнены эксперименты по облучению напыленных на подложки германия пленок германия, которые являются еще более рыхлыми образованиями. В результате было обнаружено, что возникновение роста и распада решеток на пленке германия происходит в течение первых пяти импульсов облучения. Не менее интересны в этом отношении эксперименты по многократному облучению поверхности германия. На рис. 2, б показана зависимость  $\eta(t)$  для решеток, взаимно перпендикулярных друг к другу. Как видно из рисунка, вторая решетка получается меньшей амплитуды, что также находит свое простое объяснение в рамках изложенного механизма. Следует отметить, что новая решетка на том месте, где первоначальная решетка доведена до стадии разрушения, не возникает.

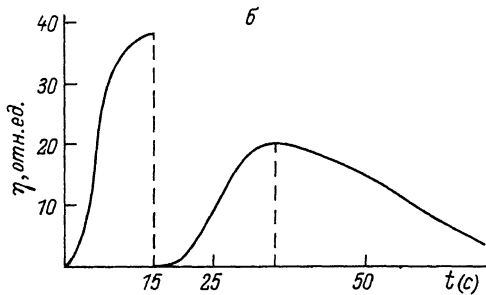
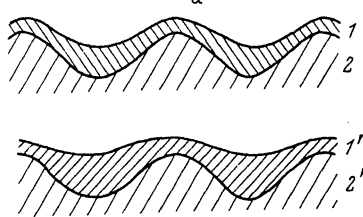


Рис. 2. а) Схема образования гофра на поверхности германия. 1 - жидкая фаза  $\rho_{ж}$ , 2 - твердая фаза  $\rho_{пов.}$ ;  $\rho_{ж} > \rho_{пов.}$  1' - твердая фаза  $\rho_{об.}$ , 2' - твердая фаза  $\rho_{пов.}$ ;  $\rho_{об.} > \rho_{пов.}$  б) Зависимости  $\eta(t)$  при двукратном облучении образца.

В следующей стадии экспериментов облучению ИАГ-лазером были подвергнуты упомянутые в начале статьи образцы, но после того как они были протравлены ионами  $CF_4$  с энергией  $\sim 0.9$  кэВ на глубину  $1700 \text{ \AA}$ . В этой же серии облучению подвергались полированный и протравленный после полировки на глубину  $\sim 1700 \text{ \AA}$  образцы, прошедшие ультразвуковую обработку в ванне с изопропиловым спиртом в течение  $\sim 30$  мин. На рис. 1, б представлены результаты этих экспериментов, усредненные по большому числу пятен облучения. Из рис. 1, б видно, что полированная и обработанная ионами  $Ar$  поверхности германия после ионного травления приобретают весьма сходные свойства, такие что характер образования решеток на них слабо различается. То же самое можно сказать и относительно образцов, обработанных ультразвуком. Однако если в первом случае, по нашему мнению, это результат некоторого уплотнения поверхности после ионного травления, то во втором случае, наоборот, результат разрыхления поверхности после ультразвуковой обработки образцов (см. вставку на рис. 1, а), косвенное подтверждение чему дает сходство кривых  $\eta(t)$  для последних образцов и пленки германия, напыленной на медную подложку [4]. Кривые на рис. 1, б достигают максимальных значений на 6-8 минутах облучения, однако глубины возникающих решеток

не отличаются затемненным образом от глубины решеток на полированной поверхности.

Наконец, в последней серии опытов облучению ИАГ-лазером подвергались поверхности сколов монокристаллического германия, перпендикулярные оси  $\langle 111 \rangle$ . На рис. 1, а показана зависимость  $\eta(t)$ , усредненная по многим пятнам облучения. Из этих данных можно заключить, что свойства поверхности скола германия заметным образом отличаются от свойств полированных поверхностей, результатом чего являются более глубокие решетки (в 1.6 раза) на поверхности скола.

Таким образом, установлено, что способ обработки поверхности германия существенным образом сказывается на процессе образования решеток на этой поверхности при облучении мощным лазерным излучением и что вид зависимости дифракционной эффективности решетки от числа импульсов облучения при некоторой фиксированной мощности излучения может характеризовать состояние облучаемой поверхности.

Авторы выражают благодарность А.В. Спицину, В.А. Дравину, Е.Г. Пчельниковой и А.С. Свахиной за подготовку образцов, А.А. Хакимову за помощь в подготовке экспериментов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] А.М. Прохоров, В.А. Сычугов, А.В. Тищенко, А.А. Хакимов, Письма в ЖТФ, 8, 16, 961 (1982).
- [2] А.М. Прохоров, В.А. Сычугов, А.В. Тищенко, А.А. Хакимов, Письма в ЖТФ, 8, 23, 1409 (1982).
- [3] D.J. Ehrlich, S.R.J. Bruesek, J.Y. Tsaio Appl. Phys. Lett., 41, 7, 630 (1982).
- [4] А.М. Прохоров, А.С. Свахин, В.А. Сычугов, А.В. Тищенко, А.А. Хакимов, Квантовая электроника, 10, 5 (1983).

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
12 февраля 1983 г.