

- [4] А н и ш е н к о В.С. Стохастические колебания в радиофизических системах. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1986, часть 2. 197 с.
- [5] X e n o n M. - Commun. Math. Phys., 1976, v. 50, p. 69-77.
- [6] А н и ш е н к о В.С., С а ф о н о в а М.А. - ЖТФ, 1988, т. 58, в. 4, с. 641-651.
- [7] Л и х т е н б е р г А., Л и б е р м а н М. Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984. 528 с.
- [8] H e r z e l H.P., E b e l i n g W. - Phys. Lett., 1985, v. 111A, N 1-2, p. 1-4.
- [9] П и к о в с к и й А.С. - Изв. вузов. Радиофизика, 1986, т. 29, № 12, с. 1438-1446.
- [10] А н и ш е н к о В.С., Н е й м а н А.Б. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, в. 17, с. 1063-1066.

Саратовский государственный  
университет им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию  
25 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 16

26 августа 1988 г.

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОГО ИМПУЛЬСА НА АНИЗОТРОПНОЕ ЛОКАЛЬНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ КРЕМНИЯ

Я.В. Ф а т т а х о в, И.Б. Х а й б у л л и н,  
Р.М. Б а я з и т о в, Е.М. М и с ю р ё в

В последние годы ведутся интенсивные исследования интересного физического эффекта - локального анизотропного плавления поверхности полупроводников, которое удается наблюдать при определенных режимах облучения мощными импульсами когерентного и некогерентного света [1-6]. Однако, несмотря на довольно большое количество работ, до сих пор нет полной ясности в понимании механизма возникновения этого важного эффекта и его основных закономерностей. В связи с этим, в настоящей работе впервые проведены систематизированные экспериментальные исследования влияния длительности светового импульса, удельного сопротивления, типа проводимости и ориентации полупроводника на плотность и размеры локальных областей плавления (ЛОП), и на этой основе предлагается возможный механизм формирования ЛОП.

Импульсное световое облучение полупроводниковых пластин в режиме образования ЛОП проводилось на установке УОЛ.П-1 излучением трех ксеноновых ламп-вспышек ИНП-16/250А, работающих в квазинепрерывном режиме. Мощность, подводимая к лампам, плавно регулировалась путем изменения длительности подключенного состояния ламп к питающей сети ( $\Delta t$ ) в течение полупериода светового напряжения. Общая длительность импульса светового облу-

чения (длительность экспозиции ( $\tau_{\text{н}}$ )) варьировалась от 50 мс до 15 с путем набора соответствующего количества импульсов-вспышек (см. вставку на рис. 2, б), а плотность энергии — от  $10^2$  до  $4 \cdot 10^3$  Дж/см<sup>2</sup>. Величина флуктуации температуры образца, обусловленная квазинепрерывностью излучения ламп-вспышек, составляла около 2К при температурах, близких к точке плавления кремния. В качестве исследуемых образцов использовались промышленные пластины монокристаллического кремния КЭФ-1, КЭФ-7.5, КДБ-10 с ориентацией поверхности (100), (130), (111). Анализ формы, плотности (количества на единицу площади) и размеров ЛОП осуществлялись с применением оптических микроскопов МБС-9, МИИ-4, *НЦ-2Е*. При определении зависимости плотности ЛОП от режимов локального плавления измерения проводились в 20 точках на каждой из 90 исследованных пластин. Статистическая обработка полученных результатов проводилась по методике, описанной в [7]. Ряд образцов после операции локального плавления были обработаны в травителе Сиртла с целью выявления дефектов типа дислокаций.

Как было установлено ранее, ЛОП, образующиеся на монокристаллическом кремнии, имеют четко выраженную огранку, и их форма однозначно связана с кристаллографической ориентацией поверхности. Для примера на рис. 1 приведены микрофотографии ЛОП на поверхности кремния ориентации (100), (130), (111).

Изучение зависимости плотности и размеров ЛОП от длительности светового импульса, приводящего к локальному плавлению, было проведено как при фиксированном значении плотности мощности, так и при ее изменении от 90 до 1600 Вт/см<sup>2</sup>. На рис. 2, а приведена типичная зависимость плотности  $N$  локальных областей плавления от длительности светового импульса при фиксированной плотности мощности для монокристаллического кремния КЭФ-1 ориентации (111). Видно, что с ростом экспозиции ( $a$ , значит, и температуры образца) плотность ЛОП резко возрастает, а затем остается практически постоянной, причем их максимальные размеры возрастают линейно (для данного режима с 0 до 1700 мкм) с ростом экспозиции в связи с увеличением времени пребывания локальных областей поверхности в расплавленном состоянии. За характерный размер ЛОП нами принята сторона правильного треугольника.

Результаты обработки серии аналогичных зависимостей для различных плотностей мощности приведены на рис. 2, б. Уменьшение мощности, подводимой к лампам, и увеличение длительности импульса светового облучения, необходимой для достижения образцом температуры локального плавления (точнее, состояния, соответствующего „полке“ на рис. 2, а), приводит к снижению плотности ЛОП, в то время как их размеры резко возрастают. Качественно аналогичные зависимости наблюдаются и для других ориентаций, удельного сопротивления и типа проводимости кремния. Довольно высокий разброс значений  $N$  относительно средних величин обусловлен явно неоднородным распределением плотности ЛОП по поверхности пластины. Проведенный нами анализ причин возникновения обнаруженной неоднородности для всех исследованных образцов выявил корре-

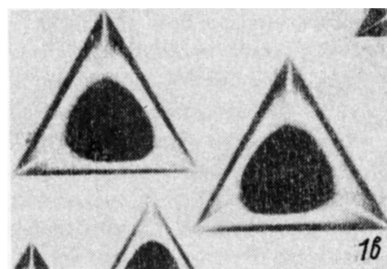
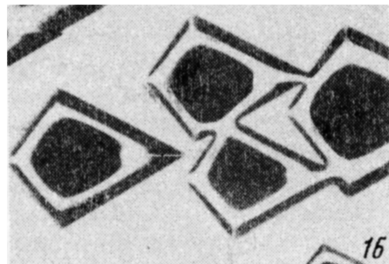
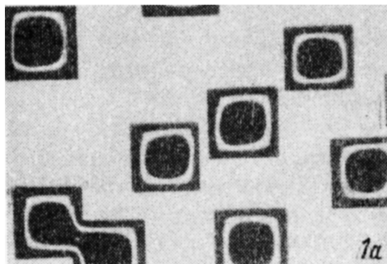


Рис. 1. Микрофотографии поверхности образцов монокристаллического кремния ориентации: а - (100), б - (130), в - (111), подвергнутых импульсному световому облучению в режиме локального плавления. Увеличение: а, в -  $50\times$ , б -  $40\times$ .

лящую между расположением ЛОП и периодической слоистостью в распределении легирующих примесей, возникающей при выращивании кристалла методом вытягивания из расплава [8], а также с технологией и качеством обработки исходных пластин полупроводника. Эти результаты с учетом данных работы [1] позволяют сделать вывод, что центрами зародышеобразования ЛОП являются дефекты поверхности полупроводника. Их эффективность, как центров зародышеобразования жидкой фазы, существенным образом зависит от длительности светового импульса: плотность ЛОП резко падает с увеличением  $\tau_{\text{и}}$  (см. рис. 2, б).

Такой характер зависимости  $N = f(\tau_{\text{и}})$  (рис. 2, а, б) мы объясняем различной степенью перегрева полупроводника относительно точки плавления. Благодаря перегреву, создаются условия для преодоления барьера зародышеобразования жидкой фазы. Как показали наши расчеты и эксперименты ряда авторов (см., например, [9]), величина перегрева в твердой фазе снижается с ростом длительности светового импульса, и при  $\tau_{\text{и}} \approx 10$  с устанавливается практически стационарный, равновесный режим, характеризующийся отсутствием перегрева. Чем больше величина перегрева, тем большее число дефектов становится центрами зародышеобразования жидкой фазы. И наоборот, уменьшение степени перегрева, что реализуется при больших длительностях импульса, обеспечивает плавление лишь на дефектах с пониженными барьера и приводит к снижению величины  $N$ .

Был также исследован вопрос, не создает ли сам световой импульс в дополнение к имеющимся новые центры зародышеобразования ЛОП, например в виде дислокаций, возникающих из-за больших

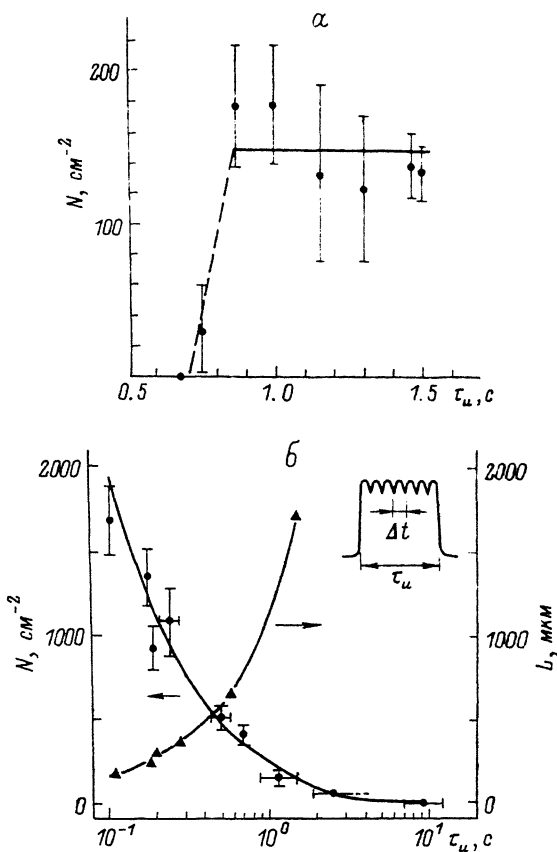


Рис. 2. Зависимость плотности  $N$  (а, б) и максимальных размеров  $L$  (б) локальных областей плавления на монокристаллическом кремнии КЭФ-1 ориентации (Ш) от длительности светового импульса: а) для фиксированной плотности мощности ( $240 \text{ Вт/см}^2$ ), б) для различных значений плотности мощности от 90 до  $1600 \text{ Вт/см}^2$ . На вставке на рис. 2, б – осциллограмма светового импульса, снятая с помощью кремниевого фотодиода ФД-24 К.

температурных градиентов. С этой целью пластины кремния, подвергнутые импульсному световому облучению, обрабатывались в травителе Сиртла. При всех использованных значениях мощности и для всех длительностей, максимально близких, но не достигавших порога плавления, дислокации обнаруживались лишь по периметру пластин в кольце шириной  $\sim 5 \text{ мм}$ . На образцах, облученных в режиме формирования ЛОП, травление показало, что на отдельных линиях скольжения наблюдается формирование густой цепи ЛОП. Причем плотность ямок травления на 1–3 порядка величины превос-

ходит плотность ЛОП. Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод, что дислокации могут являться гетерогенными центрами зародышеобразования ЛОП. Этот результат согласуется с выводами работы [5].

В заключение авторы выражают признательность Г.Ф. Красновой и В.Н. Пикаловой за помощь в проведении экспериментов и полезное обсуждение.

### Л и т е р а т у р а

- [1] H e i n i g K.-H. - International Conference on Energy Pulse Modification of Semiconductors and Related Materials. Dresden (GDR), 25-28 September, 1984, p. 265-279.
- [2] C e l l e r G.K., R o b i n s o n M.C., T r i m b l e L.E., L i s h n e r D.J. - Appl. Phys. Lett., 1983, v. 43, N 9, p. 868-870.
- [3] Г а й д у к П.И., К о м а р о в Ф.Ф., С о л о в ъ е в В.С. ХУ Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М., 27-29 мая, 1985, с. 106.
- [4] Ф а т т а х о в Я.В., Х а й б у л л и н И.Б., П а н к н и н Д. Всесоюзная конференция „Диагностика поверхности“. Каунас, 18-20 ноября, 1986, с. 130.
- [5] В е й к о В.П., И м а с Я.А., Л и б е н с о н М.Н., Ш а н д ы б и н а Г.Д., Я к о в л е в Е.Б. - Изв. АН СССР, сер. Физическая, 1985, т. 49, № 6, с. 1236-1239.
- [6] Б о н ч и к А.Ю., Г а ф и й ч у к В.В., К и я к С.Г., С а в и ц к и й Г.В. - Поверхность. Физика, химия, механика, 1986, № 5, с. 142-144.
- [7] Г р и ш и н В.К. Статистические методы анализа и планирования экспериментов. М.: МГУ, 1975. 128 с.
- [8] Г л а з о в В.М., З е м с к о в В.С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М.: Наука, 1967. 372 с.
- [9] К а р п о в С.Ю., К о в а д ь ч у к Ю.В., П о г о р е л ь с к и й Ю.В. - ФТП, 1986, т. 20, в. 11, с. 1945-1969.

Поступило в Редакцию  
30 июня 1988 г.