

*Л. Л. Терлецкая, Н. Х. Копыт, В. В. Голубцов*  
*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова*

### **Исследование структуры ионнолегированного кремния после импульсного лазерного отжига**

Представлены результаты исследования влияния когерентного излучения на степень активации примеси в ионнолегированных структурах кремния. Рассмотрены физические процессы, происходящие в приповерхностной области образцов кремния при воздействии лазерного отжига. Показана возможность существенного улучшения электрофизических характеристик кремния путем оптимизации параметров лазерного излучения.

Для создания фотоприемников и других приборов электронной техники широко используется технологическая операция введения примесей в полупроводниковый материал методом ионного легирования. Однако применение этого метода приводит к нарушению структуры (аморфизации) поверхностного слоя монокристалла.

Восстановление кристаллической структуры и электрическая активация введенной примеси осуществляется термической обработкой полупроводникового материала, хотя при таком методе обработки нагревается вся подложка. Последнее является весьма нежелательным фактом, так как нагрев может привести к необратимому изменению электрофизических параметров исходного материала, а степень активации внедренной примеси при этом оказывается незначительной.

Одним из наиболее результативных способов активации примеси в ионнолегированных структурах является импульсный лазерный отжиг поверхностных слоев. Преимуществами такого способа обработки является возможность проведения отжига в атмосферных условиях и локализации участка отжига.

Импульсный лазерный отжиг в момент воздействия связан с локальным расплавлением активируемого объема образца. После снятия импульса происходит кристаллизация. Суммарная продолжительность процессов плавления и кристаллизации по существующим оценкам составляет  $\sim 10^{-5}$  с [1]. Однако переход поверхностного слоя подложки в состояние жидкой фазы приводит к возрастанию коэффициента диффузии. Небольшое время жизни жидкого состояния и малый объем расплава препятствуют значительному перераспределению имплантированных ионов. Поэтому лазерный отжиг позволяет получать резкие градиенты легирующей примеси, а, следовательно, резкие p-n-переходы. Наиболее существенным преимуществом лазерного отжига является возможность получения бездефектных слоев [2].

Согласно тепловой модели, описывающей процессы, происходящие при импульсном лазерном отжиге, энергия падающих фотонов за время импульса, во-первых, превращается в тепловую энергию атомов в слое порядка длины поглощения таких фотонов, а во-вторых, происходит плавление аморфного слоя вплоть до монокристаллической подложки с последующих рекристаллизационным процессом [3, 4]. Энергия, требуемая для нагревания до температуры плавления ионнолегированного слоя, не должна превышать величину  $0,076 \text{ Дж/см}^2$ . Однако согласно данным авторов [5], эта величина может быть увеличена, если учитывать частичное отражение падающей энергии.

Для отжига исходных подложек n-Si марки КДБ, легированных методом ионной имплантации (дозы  $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ) бором, использовались рубиновый лазер ( $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$ ) и АИГ-Nd ( $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ ). Частота следования импульсов составляла 4 кГц. Отжигаемый образец располагался на подвижном столике, который сканировался относительно лазерного пучка. Для зондирования отжигаемой поверхности подложек использовался He-Ne-лазер. Зондирующий луч, синхронизированный с отжигающим лучом, последовательно направлялся на один и тот же участок обрабатываемой поверхности. Сканирование проводилось таким образом, чтобы участки, отожженные двумя последовательными импульсами, перекрывались до  $\sim 80\%$ . Плотность энергии  $I$  в пучке составляла  $1,5 - 2,0 \text{ Дж/см}^2$ , длительность импульса  $\tau = 20 \text{ нс}$ , диаметр пучка  $d = 20 - 40 \text{ мкм}$ .

Интенсивность зеркально отраженного зондирующего луча регистрировалась с помощью быстродействующего фотоприемника. Коэффициент отражения, зависящий, как известно, от коэффициента преломления, определяется с помощью величин интенсивности падающего и отраженного лучей. Для оценки температуры нагретого лазерным излучением слоя использовались данные расчета, представленные в работе [6].

Установлено, что при длительностях лазерных импульсов  $10^{-3}$  и  $10^{-7}$  с диффузионное смещение основных примесей в образцах составляло  $10^{-7}$  и  $10^{-8}$  соответственно даже при температурах, близких к  $1000^\circ\text{C}$ . Возможными причинами миграции примеси и ускорения диффузии может быть перемещение примеси по междоузлиям или избыточная концентрация вакансий.

Электрофизические параметры образцов контролировались по данным измерений проводимости и эффекта Холла в сочетании с послойным травлением поверхностного слоя пластин кремния.

Экспериментально установлено, что лазерный отжиг образцов n-Si  $\langle B^+ \rangle$ , более эффективен при дозах более  $10^{15} \text{ см}^{-2}$  (рис.). Активация внедренной примеси у таких образцов увеличивалась в 7–9 раз.

Представленные в таблице электрофизические параметры ионнолегированного n-Si  $\langle B^+ \rangle$  (ускоряющее напряжение 40 кэВ) после отжига рубиновым лазером ( $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$ ,  $\tau = 30-40 \text{ нс}$ ,  $I = 1,3-1,5 \text{ Дж/см}^2$ ) свидетельствуют о высокой степени активизации примеси в образцах. Высокая степень

активации внедренной примеси (по величине близкая к 1) при лазерном отжиге может быть объяснена не только термическим разогревом, но и фото-стимулированными процессами ионизации.

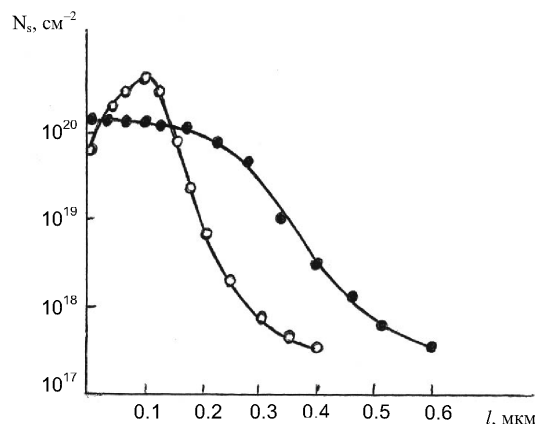


Рис. Профиль концентрации примеси бора в образце n-Si. Доза  $2,2 \times 10^{16}$  см<sup>-2</sup>; 1 — до отжига; 2 — после импульсного лазерного отжига

Таблица

Электрофизические параметры образцов n-Si (B<sup>+</sup>) после импульсного лазерного отжига

№ образца	Доза имплантации, см <sup>-2</sup>	Поверхностное сопротивление, Ом/см	Концентрация примеси, см <sup>-2</sup>	Подвижность, см <sup>2</sup> /В·с
4.2	$5,0 \cdot 10^{14}$	196	$5,8 \cdot 10^{14}$	62
18.1	$3,5 \cdot 10^{15}$	48	$4,2 \cdot 10^{15}$	38
12.4	$2,7 \cdot 10^{16}$	3,9	$4,1 \cdot 10^{16}$	29

О достаточно высоком структурном совершенстве ионнолегированных слоев после воздействия на них лазерного излучения свидетельствовали электронограммы с хорошо развитыми линиями Кикучи.

Таким образом, при действии импульсного лазерного излучения, в отличие от воздействия источников некогерентного излучения, поверхностный слой кремния, аморфизированный в процессе ионного легирования примесью, рекристаллизовался полностью. Выбор оптимальных параметров лазерного излучения (длины волны  $\lambda$ , интенсивности  $I$ , длительности импульса  $\tau$ ) позволяет управлять процессом воздействия на заданную толщину поверхностного слоя образцов n-Si (B<sup>+</sup>), соизмеримую с толщиной ионнолегированного слоя для каждой конкретной партии образцов.

Применение импульсного лазерного излучения в сочетании с ионным легированием кремниевых подложек позволяет существенно улучшить качество структур и упростить технологию производства фотоэлектрических преобразователей, матриц на их основе, планарных микросхем.

#### Литература

1. Rozgoni G.A.//Advances in Solid State Phys. — 1980. — 20. — P. 229-257.
2. Афанасьев В.А., Гудков В.А., Гордиенко Б.В., Духновский М.П., Крысов Г.А.//Электроника СВЧ. — 1981. — Вып. 8(322). — С. 35-41.
3. Wang J.C., Wood R.F., Pronko P.P.//Appl. Phys. Lett. — 1978. — 33. — P. 455-461.
4. Vacri F., Campisano S.U., Foti G.//J. Appl. Phys. — 1979. — 50. — P. 788-793.
5. Van Vechten I.A., Tsu R.,Sari F.W.// Phys. Lett. — 1989. — 74. — P. 417-422.
6. Гринберг А.А.//ФТТ. — 1986. — 9. — № 5. — С.
7. Пинтус С.М. Синтез и рост совершенных кристаллов. — Новосибирск: Наука, 1981. — 178 с.

*Л. Л. Терлецька, М. Х. Копит, В. В. Голубцов*

**Дослідження структури іоннолегованого кремнію після імпульсного лазерного відпалу**

#### АНОТАЦІЯ

Представлено результати дослідження впливу когерентного випромінювання на ступінь активації домішки в іоннолегованих структурах кремнію. Розглянуто фізичні процеси, що відбуваються у приповерхневій області зразків кремнію за умов дії лазерного відпалу. Показано можливість суттєвого поліпшення електрофізичних характеристик кремнію шляхом оптимізації параметрів лазерного випромінювання.

*Terletskaya L. L., Kopyt N. Kh., Golubtsov V. V.*

**Investigation of the structure of ion-implantation silicon  
after the puls laser annealing**

**SUMMARY**

Results of study of the influence of coherent radiation on the degree of impurity activation in the ion-implantation silicon structures are presented. There are considered physical processes in surface region of silicon sample at the laser annealing. It is shown the possibility of improvement of the electrophysical characteristics of silicon by means optimisation of lasers emission parameters.