

- [1] Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М., 1985. 415 с.  
 [2] Krivan A. M., Ruden P. P. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 12. P. 8013—8020.  
 [3] Сайдашев И. И., Савельев И. Г., Крепчук А. М. // Письма ЖЭТФ. 1987. Т. 45. В. 2. С. 95—98.

Физико-технический институт  
 им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
 Ленинград

Получено 8.02.1989  
 Принято к печати 14.02.1989

ФТП, том 23, вып. 6, 1989

## ДИФфуЗИОННАЯ ДЛИНА В ЭПИТАКСИАЛЬНОМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННОМ ВАКУУМНЫМ ИСПАРЕНИЕМ

Алешин А. М., Задорожный Н. С., Коваленко В. Ф.,  
 Краснов В. А., Сахаров В. А., Сушко Б. И.

Изучение физических свойств поликристаллического кремния представляет интерес в связи с постоянно увеличивающимися масштабами применения этого материала при изготовлении дискретных полупроводниковых приборов, интегральных схем, фотоэлектрических преобразователей энергии, систем отображения информации и т. п. [1, 2]. Актуальной проблемой использования поликристаллического кремния является разработка способов его получения, не оказывающих отрицательного влияния на окружающую среду.

В настоящем сообщении впервые приведены результаты изучения зависимости диффузионной длины неосновных неравновесных носителей заряда  $L$  от уровня легирования и химической природы легирующей примеси в эпитаксиальных слоях поликристаллического кремния  $n$ - и  $p$ -типа, полученных экологически чистым методом термического испарения в вакууме на подложки монокристаллического кремния  $p$ - и  $n$ -типа соответственно, ориентированные в направлениях  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$ . Толщина слоев составляла 7—350 мкм. Слои легировались алюминием ( $1.4 \cdot 10^{16} \leq p \leq 4.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ), галлием ( $1.6 \cdot 10^{17} \leq p \leq 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ), мышьяком ( $8.5 \cdot 10^{14} \leq n \leq 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ). Концентрацию основных носителей, их подвижность, удельное сопротивление в них измеряли методом Ван-дер-Пау. Значения удельного сопротивления, измеренные таким способом, соответствовали значениям этого параметра, определенного четырехзондовым методом. Распределение удельного сопротивления по толщине слоев, измеряемое четырехзондовым методом с использованием наклонных шлифов структур, было практически однородным, за исключением переходной области в слоях  $p$ -типа у границы слой—подложка, в которой наблюдалось незначительное (в 1.2—1.4 раза) уменьшение этого параметра. Протяженность переходной области увеличивалась от  $\sim 2.5$  до  $\sim 10$  мкм с ростом концентрации легирующей примеси в исследуемом интервале.

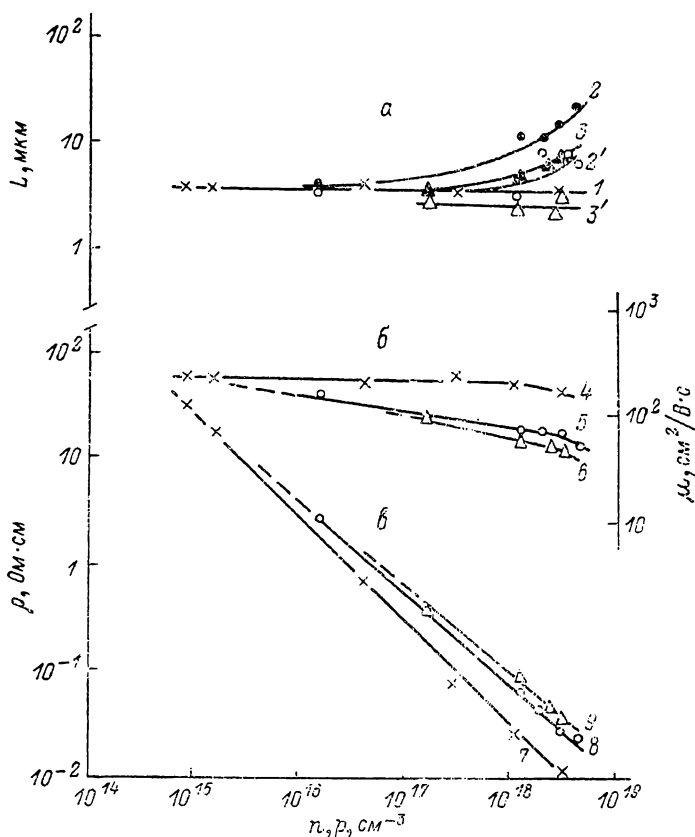
Структуру выращенных слоев устанавливали по виду лауэграмм и с помощью растрового электронного микроскопа. Слои имели мелкокристаллическую структуру с максимальным размером зерен, не превышающим 0.3 мкм. Размер зерен уменьшался по мере приближения к подложке, у которой он составлял  $\sim 0.01$ — $0.05$  мкм. В переходной области слоев у границы раздела слой—подложка наблюдались также участки аморфной структуры значительных размеров.

Диффузионную длину при 300 К определяли по наклону экспоненциальной зависимости фототока  $I_\phi$ , наведенного лазерным зондом в  $p$ — $n$ -структуре, от расстояния  $z$  до  $p$ — $n$ -перехода при сканировании поверхности наклонного шлифа структур с углом наклона этой поверхности 10—20 угл. мин.

Для измерений использовался аргоновый лазер с длиной волны излучения  $0,476-0,514$  мкм мощностью  $40$  мВт. Диаметр светового зонда составлял  $30$  мкм. Глубина поглощения возбуждающего света, оцененная из выражения  $\alpha^{-1} \approx [B(h\nu - E_g)^2]^{-1}$  [для кремния, согласно [3],  $B \approx (2.7-4.2) \cdot 10^3 \text{ см}^{-1} \cdot \text{эВ}^{-2}$ ], составляла примерно  $1-2$  мкм.

На рисунке, *a* представлены зависимости диффузионной длины от концентрации основных носителей заряда в исследованных слоях. Обращают на себя внимание следующие особенности приведенных зависимостей:

— в переходной области слоев *p*-типа, а также в объеме слоев *p*-Si(Al) с увеличением уровня легирования происходит возрастание диффузионной длины электронов;



Зависимость диффузионной длины от концентрации основных носителей заряда (*a*) в слоях *n*-Si(As) (1), в переходной области (2, 3) и объеме (2', 3') слоев *p*-Si(Al) и *p*-Si(Ga) соответственно; зависимости подвижности (*b*) и удельного сопротивления (*c*) от концентрации основных носителей заряда в слоях *n*-Si(As) (4, 7), *p*-Si(Al) (5, 8), *p*-Si(Ga) (6, 9) ( $T=300$  K).

— в эпитаксиальных слоях *p*-Si(Ga) диффузионная длина меньше, чем в слоях *p*-Si(Al);

— в слоях *n*-типа, а также объеме слоев *p*-Si(Ga) диффузионная длина практически не зависит от концентрации основных носителей заряда.

Увеличение диффузионной длины с ростом уровня легирования можно объяснить, если предположить, что мелкокристаллическая структура исследованных слоев является переходной между поликристаллической и аморфной и содержит определенную концентрацию свободных валентных связей, которые представляют собой основной вид дефектов в аморфном кремнии [1]. По-видимому, введение легирующей примеси приводит к насыщению этих связей, при этом степень насыщения пропорциональна уровню легирования. Более низкие значения  $L$  в слоях *p*-Si(Ga) по сравнению со слоями *p*-Si(Al), а также отсутствие зависимости этого параметра от концентрации основных носителей в объеме слоев *p*-Si(Ga) и *n*-Si(As) связаны, по-видимому, с тем, что атомный радиус Ga

и As превышает атомный радиус Al и Si. Это может приводить к генерации дополнительной концентрации структурных дефектов. В пользу такого предположения свидетельствуют более низкие значения подвижности дырок и более высокие значения удельного сопротивления в слоях  $p$ -Si (Ga) при такой же, как и в слоях  $p$ -Si (Al), концентрации дырок (см. рисунок, б, в).

Одним из факторов, обуславливающих увеличение диффузионной длины электронов в переходной области слоев  $p$ -типа, может быть увеличение концентрации легирующей примеси.

#### Список литературы

- [1] Хейванг В., Биркольтц У., Айнцингер Р., Ханис Л., Кемптер К., Шеллер А. Аморфные и поликристаллические полупроводники. М., 1987. 160 с.
- [2] Пирс К., Адамс А., Кац Л., Цай Дж., Сейдел Т., Макгиллис Д. Технология СВИС. Кн. I. М., 1986. 404 с.
- [3] Излучательная рекомбинация в полупроводниках. Под ред. Я. Е. Покровского. М., 1972. 304 с.

Получено 5.08.1988

Принято к печати 20.02.1989

*ФТП, том 23, вып. 6, 1989*

## ФОТОМАГНИТНАЯ ЭДС В Ge, ВОЗБУЖДАЕМАЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ СВЕТОМ

Зыков В. Г., Сердега Б. К.

Междолинное перезаселение генерированных светом электронов в многодолинном полупроводнике, обусловленное направленным их движением, приводит к возникновению дополнительной компоненты фотомангнитной ЭДС (ФМЭ), обнаружению и исследованию которой на примере кремния были посвящены работы [1, 2]. Там же, в частности, установлено, что относительный вклад междолинной компоненты в суммарную фотоэдс возрастает при увеличении поверхностного изгиба зон истокающего знака. Более того, междолинная ФМЭ становится преобладающей в области такого значения поверхностного потенциала, при котором происходит смена знака ФМЭ с нормального, определяемого диффузией неравновесных электронно-дырочных пар, на аномальный, обусловленный дрейфовой компонентой тока в приповерхностном слое пространственного заряда. Большая чувствительность ФМЭ в этих условиях к нарушению равномерного распределения неравновесных электронов по долинам зоны проводимости может быть использована для поиска эффекта, связанного с селективным заселением долин под действием линейно поляризованного света.

Действительно, в многодолинных полупроводниках имеется различие в вероятностях возбуждения электронов в отдельную долину зоны проводимости, связанное с различными положениями плоскости поляризации света относительно главных кристаллографических осей. Расчет вероятности генерации в данную долину и ее зависимости от энергии квантов падающего света выполнен в работе [3]. Один из ее выводов состоит в том, что правила отбора для матричных элементов перехода позволяют реализовать селективность возбуждения в кристаллах германия в ограниченной области энергий, которая включает в себя значения энергий вертикального перехода  $L'_3 - L_1$ .

С учетом этого, а также отмеченных ранее особенностей ФМЭ нами в настоящей работе проведено исследование фотомангнитного эффекта в условиях возбуждения электронно-дырочных пар линейно поляризованным светом.

Измерения проводились на образцах слабо легированного  $n$ -Ge ( $\approx 10^{12}$  см $^{-3}$ ), вырезанных из слитка (рис. 1) с размерами  $l_x \times l_y \times l_z = 10 \times 3 \times 0.2$  мм. Их обработка была стандартной: механические шлифовка и полировка, травление