

Автор благодарен А.С. Зубрилову, Ю.Г. Кусраеву, В.Б. Шуман за помощь в проведении экспериментов и полезные обсуждения настоящей работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вендик О.Г., Гайдук М.М., Козырев А.Б., Самойлова Т.Б., Зеленкевич М. // ФТТ. 1985. Т. 27. В. 3. С. 931-932.
- [2] Nö l d e k e C., M e t z g e r W., H u e b e n e r R.P., S c h n e i d e r H. // Phys. stat. sol. (b). 1985. V. 129. N 2. P. 687-695.
- [3] N u t t a l K.I., N i e l d M.W. // Int. J. Electronics. 1968. V. 24. N 1. P. 69-78.
- [4] Коршунов Ф.П., Марченко И.Г., Ластовский С.Б. // Тез. всесоюз. конф. по физике полупроводников. 1985. В. 3. С. 38-39.
- [5] Чапнин В.А. // ФТТ. 1965. Т. 7. В. 2. С. 506-512.
- [6] H a i t z R.H. // J. of Appl. Phys. 1965. V. 36. N 10. P. 3123-3130.
- [7] Карпус В., Перель В.И. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. В. 6. С. 2319-2331.

Поступило в Редакцию
3 июня 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
05.1; 06.2; 11

26 марта 1989 г.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЛАНАРНОМ ГЕТТЕРИРОВАНИИ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР

В.В. А р т а м о н о в, М.Я. В а л а х,
Б.Н. Р о м а н ю к, И.В. Р у д с к о й,
В.В. С т р е л ь ч у к

В работе исследованы кремниевые структуры с геттерными областями на рабочей стороне пластины, сформированными в непосредственной близости к активным участкам схемы с помощью локальной имплантации ионов Az^+ и последующего наращивания пленок, так называемые планарные геттеры [1]. В этом случае реализуется неравновесная ситуация по плотности термически генерированных дефектов и, следовательно, различие в процессах формирования структурных свойств пленок в рабочей и геттерной областях.

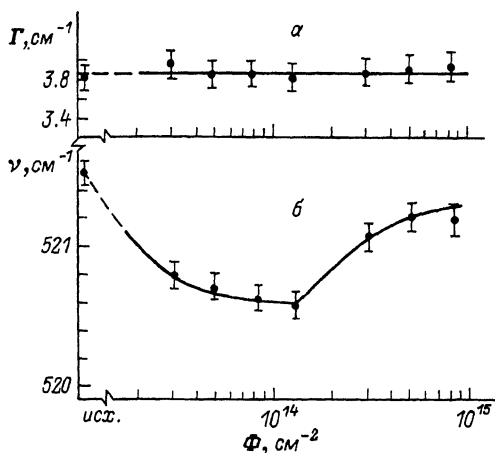


Рис. 1. Зависимость изменения полуширины Γ (а) и частоты $\nu_{\text{макс}}$ (б) фоновой линии КРС Si в „рабочей области“ схемы от дозы имплантации в геттерную область.

Одним из существенных факторов, определяющих эффективность процесса геттерирования, является возникновение значительных упругих напряжений в приповерхностном слое пленки.

Вообще говоря, на „чистой“ области пластины можно было ожидать ненапряженное состояние пленки. Напротив, рост пленки на имплантированных областях должен сопровождаться возникновением значительных напряжений вследствие прорастания большого количества дефектов. Естественно предположить, что этот фактор должен определять напряженное состояние и в примыкающих „чистых“ областях. Распределение напряжений в активной области схемы и было предметом изучения. В качестве метода исследования использовалось лазерное комбинационное рассеяние света (КРС).

Активные области на пластине Si (плоскость Ш) имели форму квадратов различной площади (сторона от 100 мкм до 5 мм). В прилежащие к ним геттерные области проводилась имплантация ионов $\text{A}2^+$ с энергией 50 кэВ и $j = 0.1$ мкА/см² в диапазоне доз $10^{13} - 10^{16}$ см⁻². Затем пластины ожигались при $T = 1100$ °С в течение 15 минут и проводилось эпитаксиальное наращивание пленки Si до толщины 5,1 мкм.

Для возбуждения КРС использовался аргоновый лазер ($\lambda = 514.5$ нм, $P < 50$ МВт) излучение которого фокусировалось в пятно ~ 80 мкм. Точность определения в спектре положения фонового максимума составляла ± 0.15 см⁻¹, что обеспечивалось параллельной записью реперных газоразрядных линий Ne . Глубина зондируемого слоя при $\lambda = 514.5$ нм составляет $\alpha \approx 0.34$ мкм, что существенно меньше толщины эпитаксиальной пленки.

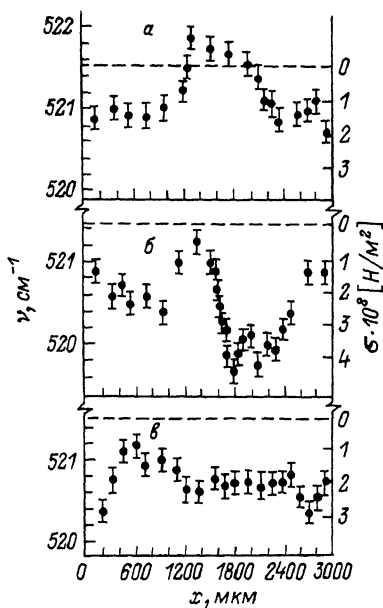


Рис. 2. Изменение частоты фононного пика $\nu_{\text{макс}}$ и соответствующего растягивающего напряжения σ внутри рабочей площадки размером 3×3 мм при различных дозах имплантации в геттерную область ($\Phi \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$): а - 3.0, б - 4.6, в - 6.2.

Спектры КРС монокристаллического Si характеризуется одним пиком, соответствующим трижды вырожденному колебанию в центре зоны Бриллюэна. Величина упругого напряжения может быть непосредственно определена из сдвига фононной полосы [2,3].

На рис. 1 показано изменение полуширины Γ и частоты ν фононной линии при увеличении дозы ионов, имплантированных в геттерную нерабочую область

образца. Спектры КРС измерялись в пределах «чистой» области размером 3×3 мм на расстоянии 100 мкм от ее границы.

Видно, что полуширина линии вплоть до значений доз $\Phi \approx 10^{16} \text{ см}^{-2}$ остается практически постоянной и близкой к значению, характерному для идеального монокристалла. Это свидетельствует о высоком качестве эпитаксиальной пленки в «очищаемых» областях даже при таких больших дозах имплантации.

С ростом дозы до значений $\Phi \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдается сдвиг фононного максимума в низкочастотную сторону, что свидетельствует об увеличении растягивающего напряжения в исследуемой области образца. При $\Phi > 10^{15} \text{ см}^{-2}$ имеет место обратное смещение максимума, что можно связать с релаксацией упругих напряжений в этом интервале доз. Это подтвердила оценка по спектру КРС упругих напряжений в эпитаксиальной пленке, выращенной на имплантированном участке кремниевой подложки. Оказалось, что при $\Phi = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ они достигают значений, характерных для появления сдвиговых напряжений в эпитаксиальной пленке, выращиваемой при 1100°C . Поэтому при $\Phi \geq 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ в геттерных областях исследованной нами структуры может происходить пластическая деформация, приводящая к релаксации упругих напряжений, и, как следствие, уменьшению упругих напряжений в граничащей с геттером рабочей области кремниевой пленки.

Представляет интерес вопрос о дальнем действии геттерных областей. На рис. 2 представлено изменение ν и соответствующее напряжение σ при сканировании возбуждающего луча вдоль направления, параллельного стороне активной площадки 3×3 мм,

для различных доз имплантации в геттерную область. При дозе $\Phi \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (кривая а) наблюдается рост растягивающих напряжений на расстоянии около 600 мкм от границы, в то время как в центре квадрата напряжения практически отсутствуют (нуль напряжений показан пунктиром). При $\Phi = 4.6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (кривая б) наблюдается увеличение дальнего действия напряжений с краев на расстояние до 1200 мкм. Не захватываемая напряжением центральная область квадрата сужается. Дальнейшее увеличение дозы имплантации геттера до значения $\Phi = 6.2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (кривая в) приводит к возникновению растягивающих напряжений во всей рабочей области $3 \times 3 \text{ мм}$.

Анализ формы спектра КРС при сканировании не обнаружил заметного изменения полуширины Γ при всех дозах имплантации. Она была близка к значению, характерному для монокристалла.

Аналогичные исследования были проведены и для рабочей площадки $1 \times 1 \text{ мм}$. И в этом случае с увеличением дозы имплантации от 3.0 до $6.2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ наблюдается возрастание растягивающих напряжений. Однако при этом отсутствует ненапряженная центральная часть, поскольку дальнее действие возникающих напряжений превышает 500 мкм.

Описанное сканирование упругих напряжений в пределах рабочих участков схемы обнаружило несимметричный характер распределения их у противоположных сторон исследуемых квадратов. Предпринятое сканирование в перпендикулярном направлении подтвердило этот факт и показало, что картина распределения напряжений симметрична относительно направления одной из диагоналей квадратов. Этот же результат подтвердили и выполненные нами исследования упругих напряжений по рентгенотопограммам. Они снимались по методу промежуточного контраста, обеспечивающего максимальную чувствительность к кристаллографическим дефектам и полям упругих напряжений.

Оказалось, что вектор напряжений направлен по диагонали чистых областей, имеющих форму квадрата. Этот факт согласуется с отмеченной несимметричностью распределения δ вдоль направления, параллельного стороне „очищаемого квадрата“ структуры. Причина его заключается в том, что ориентация фотошаблона при формировании рабочих участков была такова, что диагональ квадрата рабочего элемента совпадала с направлением $[110]$. Последнее, как известно, является направлением скольжения для плоскости (111) кремния, и диффузия дефектов и примесей в этом направлении значительно облегчена.

Таким образом, в настоящей работе продемонстрирована эффективность метода КРС для контроля распределения упругих напряжений в элементах кремниевых электронных схем, в том числе создаваемых с использованием геттерирования. Обнаружена асимметрия упругих напряжений, определяемая ориентацией рабочих участков относительно кристаллографических направлений, вдоль которых диффузия дефектов и примесей облегчена.

- [1] S k u b o H., W a d a K. // Patent 4371403 (USA), опубли. 11.02.83.
- [2] G o n z a l e z - H e r n a n d e z Y., M a r t i n D., T s u R. // SPIE. 1983. V. 452. P. 44-50.
- [3] E n g l e r t T., A b s t r e i t e r G., P o n t - c h a r r a Y. // Solid St. Electr. 1980. V. 23. N 6. P. 681-686.

Институт полупроводников
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию
11 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
06.3; 07; 12

26 марта 1989 г.

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ

С.Н. А н т о н о в, А.Н. Б у л ю к,
П.М. В е т о ш к о

В работах [1, 2] впервые сообщается о возможности использования распределенного магнитооптического взаимодействия в волоконных световодах (ВС) для высокочастотной модуляции оптического излучения.

Данная работа посвящена экспериментальному изучению этого эффекта.

Посылки к эксперименту заключались в следующем. Одномерный изначально изотропный световод, намотанный в виде цилиндрической катушки, помещается в магнитное поле, причем, ось катушки ортогональна силовым линиям поля. Такая намотка приводит к появлению линейного двулучепреломления $\delta = \frac{2\pi A n}{\lambda}$, где An — разность показателей преломления ортогональных по поляризации оптических мод, λ — длина волны света в вакууме. Величина δ связана с двумя факторами: изгибом и продольным натяжением ВС [3, 4]:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n^3 (p_{11} - p_{12})(1 + \nu) \frac{r}{R} \left[\frac{r}{4R} + \frac{2 - 3\nu}{2(1 - \nu)} \varepsilon \right], \quad (1)$$

где n — показатель преломления сердцевины ВС, p_{11} , p_{12} , ν — ее фотоупругие константы и коэффициент Пуассона, r — радиус ВС, R — радиус изгиба ВС, ε — величина относительного удлинения ВС в катушке, вызванного продольным натяжением.