

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАРУШЕННОГО СЛОЯ

*Д.С. Точилин, С.П. Луцин, С.Д. Точилин**

*Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, 69063, Украина, ул. Жуковского, 64; E-mail: bokc@bk.ru; тел. 769-83-55;*

**Запорожский национальный университет,
г. Запорожье, 69063, Украина, ул. Жуковского, 66; E-mail: tochno@zsu.zp.ua; тел. 289-41-16*

Временное развитие упругого рассеяния света изучалось в процессе формирования геттерирующего слоя на поверхности кремния и германия под действием импульсного лазерного излучения. Установлен линейный характер зависимости между интенсивностью рассеяния света поверхностью исследованных образцов и временем лазерной обработки.

ВВЕДЕНИЕ

Электронная техника, как правило, предъявляет высокие требования к степени совершенства кристаллической структуры используемых материалов. В соответствии с ними современная технология выращивания монокристаллов позволяет получать монокристаллы без линейных дефектов (дислокаций) [1]. В этом случае влияние точечных дефектов (примесей, вакансий) на свойства материала существенно возрастает. При отсутствии линейных дефектов, являющихся для точечных своеобразным коллектором, происходит постоянное возрастание концентрации точечных дефектов в монокристалле при выполнении технологического процесса изготовления изделия.

В целях снижения влияния точечных дефектов на физические свойства монокристаллов разработаны методы геттерирования точечных дефектов. Они заключаются в накоплении точечных дефектов в определенных областях монокристалла или в удалении дефектов из него. Характеристики и технология этих методов подробно рассмотрены в работе [2].

В последнее время широкое распространение получил метод геттерирования дефектов с помощью нарушенного слоя полупроводникового материала, созданного посредством его обработки сфокусированным лазерным излучением с большим значением плотности мощности лазерного излучения. В этих целях обычно применяются импульсные твердотельные лазеры [3].

В настоящей работе была поставлена задача исследования временного развития упругого рассеяния света поверхностью кремния и германия, обработанной лазерным излучением с величиной плотности мощности импульсов, достаточной для создания геттерирующего слоя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы монокристаллического кремния и германия представляли собой полированные пластины толщиной $4 \cdot 10^{-4}$ и $3 \cdot 10^{-4}$ м соответственно.

Схематически экспериментальная установка обработки полупроводниковых материалов лазерным излучением изображена на рис. 1.

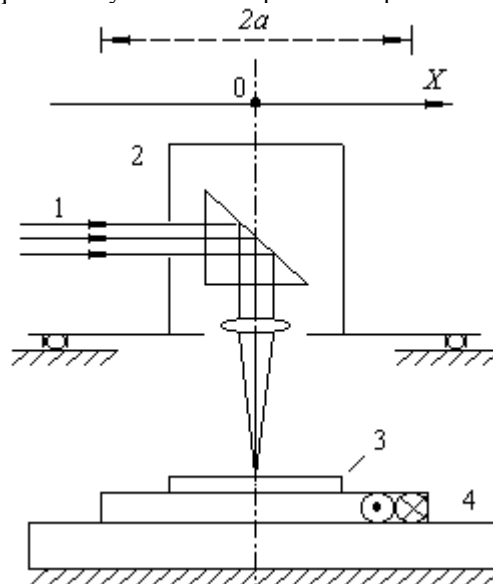


Рис.1. Установка обработки поверхности кремния и германия лазерным излучением: 1 – излучение ИАГ-Nd³⁺-лазера; 2 – оптическая система, состоящая из поворотной призмы и конденсора; 3 – пластина кремния; 4 – оптический столик

В ней использовался твердотельный лазер (длина волны $\lambda_l \cong 10^{-6}$ м) на иттриево-алюминиевом гранате (ИАГ) с примесью неодима, работавший в режиме с модулированной добротностью. Частота повторения импульсов лазерного излучения в ходе эксперимента могла принимать значения $f_1 = 12,5$ Гц и $f_2 = 25$ Гц. Длительность импульсов составляла величину порядка 10^{-8} с.

В процессе обработки поверхности кремния и германия лазерный луч двигался по ней по прямолинейной траектории.

При формировании нарушенного слоя плотность мощности импульсов лазерного излучения имела значение $\omega \cong 5 \cdot 10^{13}$ Вт/м². Оценка значения

плотности мощности импульсов лазерного излучения осуществлялась с использованием измерителя мощности и энергии лазерного излучения ИМО-2Н.

При обработке полупроводниковых материалов конденсор вместе с поворотной призмой перемещался вдоль оси X по закону $x = a \sin \Omega t$, где x - смещение по оси X относительно точки 0; $a \cong 4.15 \cdot 10^{-2}$ м; $\Omega = \pi/25$ с $^{-1}$; t - время обработки.

Нарушенный слой состоял из лунок диаметром $\sim 10^{-4}$ м и глубиной $\sim 10^{-5}$ м. Геттерирующий слой представлял собой параллельные полосы лунок, расположенные на расстоянии порядка 10^{-3} м друг от друга.

В процессе формирования геттерирующего слоя (до пяти полос лунок) нами были получены временные зависимости упругого рассеяния света. При этом использовалось излучение гелий-неонового лазера ($\lambda_2 \cong 6.3 \cdot 10^{-7}$ м, $P \cong 5 \cdot 10^{-2}$ Вт) и спектрометр ДФС-24, настроенный на длину волны λ_2 . Исследования проводились с применением оптической схемы «на отражение». При этом лазерное излучение падало на пластину в виде параллельного пучка, освещавшего на ней квадратную площадку с площадью $2.5 \cdot 10^{-5}$ и 10^{-4} м 2 , для германия и кремния соответственно. Это достигалось предварительным увеличением диаметра лазерного пучка до $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ м и установкой на пути лазерного излучения непрозрачного экрана с отверстием прямоугольной формы. На входной щели спектрометра формировалось уменьшенное (\cong в 10 раз) изображение.

На рис.2 приведены временные зависимости интенсивности упругого рассеяния света J , полученные при формировании геттерирующего слоя на исследуемом участке поверхности пластины кремния, при плотности мощности импульсов лазерного излучения ω и частоте следования импульсов f_1 и f_2 - зависимости 1 и 2 соответственно.

Как видно из этого рисунка, обсуждаемые зависимости характеризуются линейным возрастанием J с течением времени, однако имеют различный наклон к временной оси. При этом наиболее резкий рост имеет зависимость 2, полученная для f_2 , а наиболее медленный - зависимость 1, полученная для f_1 . Отметим при этом, что для произвольного момента времени, лежащего в исследованном интервале, выполняется соотношение $f_1 : f_2 \cong J_1 : J_2$ (где J_1 и J_2 - интенсивности упругого рассеяния света для зависимостей 1 и 2 соответственно, для одного и того же момента времени).

На рис.3 показана временная зависимость интенсивности упругого рассеяния света J , полученная при формировании геттерирующего слоя на исследуемом участке поверхности пластины германия, при плотности мощности импульсов лазерного излучения ω и частоте следования импульсов f_1 .

Как видно из этого рисунка, обсуждаемая зависимость также характеризуется линейным

возрастанием J с течением времени. Однако по сравнению с аналогичной прямой, полученной для поверхности кремния, величина пьедестала J_S , на котором наблюдаются прямые, для германия возрастает почти на порядок.

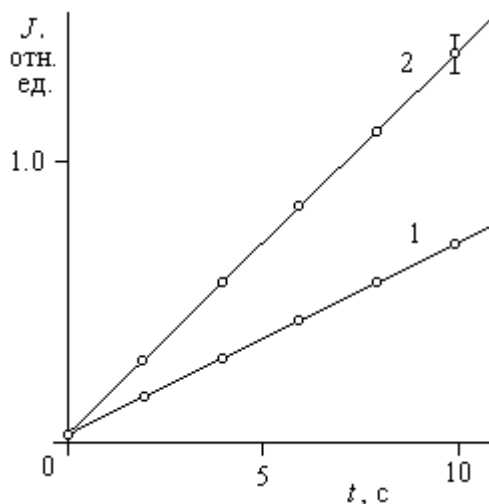


Рис.2. Временное развитие интенсивности J рассеянного света поверхностью кремния, обработанной лазерным излучением с плотностью мощности импульсов $5 \cdot 10^{13}$ Вт/м 2 . Зависимости 1 и 2 получены при частоте импульсов лазерного излучения, равной 12,5 и 25 Гц соответственно. Точки на рисунке - экспериментальные значения J

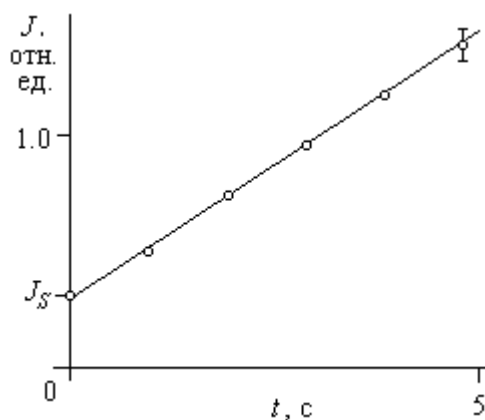


Рис.3. Временное развитие интенсивности J рассеянного света поверхностью германия, обработанной лазерным излучением с плотностью мощности импульсов $5 \cdot 10^{13}$ Вт/м 2 и частотой импульсов равной $5 \cdot 10^{13}$ и 12.5 Гц соответственно. Точки на рисунке - экспериментальные значения J

Наблюдаемые особенности временного развития упругого рассеяния света при формировании геттерирующего слоя могут быть объяснены на основе теории упругого рассеяния света на оптических неоднородностях [4-6].

В соответствии с теоретическими представлениями [4-6] для малых концентраций N , полностью отражающих свет оптических неоднородностей одинаковой формы, интенсивность упругого рассеяния J может быть представлена следующим образом:

$$J \sim J_0 G N \sim d^2 N, \quad (1)$$

где J_0 — интенсивность падающего света; G — геометрическое поперечное сечение неоднородностей; d — диаметр неоднородностей.

В случае приближения геометрической оптики и рассеяния света на неоднородностях с возрастающей во времени концентрацией вместо формулы (1) надо использовать выражение:

$$J = AN(t) = Avt, \quad (2)$$

где A — постоянный коэффициент; v — значение частоты образования дефектов.

Как можно показать, из (2) следует соотношение $J_1 : J_2 = v_1 : v_2$, справедливое для произвольного момента обработки.

С учетом рассеяния света самой поверхностью, содержащей оптические неоднородности с возрастающей во времени концентрацией, для величины J необходимо использовать выражение:

$$J = J_{0s} + Avt \sim I + Bt, \quad (3)$$

где J_{0s} — интенсивность упругого рассеяния света поверхностью материала; B — постоянный коэффициент.

Выражения (2-3) указывают на линейную зависимость J от t и удовлетворительно описывают экспериментальные результаты по упругому рассеянию света поверхностью кремния и германия при формировании нарушенного слоя.

ВЫВОДЫ

Таким образом, нами были получены временные зависимости упругого рассеяния света поверхностью кремния и германия, обработанной

лазерным излучением с величиной плотности мощности импульсного излучения, достаточной для формирования геттерирующего слоя.

Установлено, что наблюдаемые экспериментальные результаты могут быть объяснены в рамках теории рассеяния света на оптических неоднородностях.

Проведенные исследования указывают на возможность применения временных зависимостей упругого рассеяния света для контроля и оптимизации формирования геттерирующих слоев при лазерной обработке полупроводников материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.М.Таиров, В.Ф.Цветков. *Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов*. М.: «Высшая школа», 1983, 423 с.
2. В.П.Шаповалов, В.И.Грядун, В.М.Матюшин и др. Геттерирование структурных дефектов в микроэлектронике, геттерные стоки в кремнии и германии // *Складні системи і процеси*. 2002, № 1, с.36-41.
3. В.А.Лабунов, И.Л.Баранов В.Г.Бондаренко, А.М.Дорофеев. Современные методы геттерирования в технологии полупроводниковой электроники // *Зарубежная электронная техника*. М.: «ЦНИИЭлектроника», 1983, с.3-66.
4. Г.Ван де Хюлст. *Рассеяние света мелкими частицами*. М.: «Мир», 1961, 536 с.
5. П.Бугер. *Оптический трактат о градации света*. М.: «Изд-во АН СССР», 1950, 480 с.
6. А.А.Гершун. *Избранные труды по фотометрии и светотехнике*. М.: «Гос. изд-во физ.-мат. литературы», 1958, 548 с.

ПРУЖНЕ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА ПОВЕРХНЕЮ НАПІВПРОВІДНИКІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ПОРУШЕНОГО ПРОШАРКУ

Д.С. Точилін, С.П. Луцін, С.Д. Точилін

Тимчасовий розвиток пружного розсіювання світла вивчалося в процесі формування гетериуючого прошарка на поверхні кремнію та германію під дією імпульсного лазерного випромінювання. Установлено лінійний характер залежності між інтенсивністю розсіювання світла поверхнею досліджених зразків та часом лазерної обробки.

ELASTIC LIGHT SCATTERING BY THE SEMICONDUCTORS SURFACE PROCESSED BY THE LASER RADIATION

D.S. Tochilin, S.P. Lushchin, S.D. Tochilin

The temporary development of elastic light scattering was studied in process formation of the gettering layer on a surface of silicon and germanium under action of pulse laser radiation. The linear character of dependence between intensity of light scattering by a surface of the investigated samples and time of laser processing was established.