

УДК 621.382.333

Г. Е. АЙВАЗЯН, А. Б. БАГДАСАРЯН, А. А. ВАРДАНЯН

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЯХ

Показана необходимость учета возможности протекания пластической деформации при определении остаточных напряжений и диффузионных слоев механическими и расчетными методами.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ցույց է տրված զիջողի շերտերում մնացորդական և հաշվարկային մեթոդներով մնացորդային լարումների որոշման ժամանակ պլաստիկ դեֆորմացիայի բնթանալու հնարավորության հաշի առնելու անհրաժեշտությունը:

При изготовлении полупроводниковых приборов широкое применение находит диффузионное легирование полупроводниковых подложек для создания активных областей и слоев. Диффузия атомов примесей, имеющих тетраэдрический ковалентный радиус, отличающийся от радиуса атомов матрицы, сопровождается появлением остаточных напряжений (ОН) в диффузионных слоях, что, в свою очередь, приводит к генерации структурных дефектов [1—3]. Эти напряжения и дефекты оказывают отрицательное влияние на свойства полупроводниковых материалов и параметры приборов, изготовленных на их основе.

В литературе определение ОН, возникающих при диффузии, осуществляют как теоретически, с помощью формул Пруссина (расчетный метод) [1], так и экспериментально, по величине деформации изгиба подложки, используя при этом формулы Стоунли (механический метод) [2, 3]. Однако указанные формулы выведены при существенных упрощениях и допущениях и, в частности, не учитывают возможность протекания пластической деформации. Поэтому возникает вопрос о пределах применимости расчетного и механического методов.

В настоящей работе для определения ОН в качестве арбитражного использовали известных в машиностроении экспериментально-расчетный метод деформационных кривых [4]. Данный метод предполагает экспериментальное измерение деформации изгиба подложки при последовательном удалении с образцов напряженных слоев. Расчет ОН при этом осуществляется соотношением

$$\varepsilon(a) = \frac{E}{3r^2(1-\nu)} \left[(h-a)^2 \frac{df(a)}{da} - 4(h-a)f(a) + 2 \int_0^a f(\xi) d\xi \right],$$

где r и h — радиус и толщина подложки, ν и E — коэффициент Пуассона и модуль Юнга, $f(a)$ — деформация изгиба подложки при удалении напряженного слоя толщиной a .

Исходными образцами служили подложки бездислокационного кремния с удельным сопротивлением $35 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и ориентацией в плоскости (111). Для эксперимента отбирали первоначально плоскопараллельные подложки, подвергнутые симметричной химико-механической полировке. Диаметр образцов составлял 60 мм , толщина— 230 мкм . Диффузию атомов примеси (бор или фосфор) осуществляли по методу открытой трубы в «мягких» режимах в две стадии: загонка—из жидкого источника VBH_3 или PCl_3 , разгонка—в атмосфере сухого-влажного-сухого кислорода с хлорсодержащей добавкой. Глубина диффузии составляла $x_n = 10$ и $x_p = 41 \text{ мкм}$ при значениях поверхностного сопротивления $R_n = 40$ и $R_p = 0.6 \text{ Ом}/\square$.

Деформацию изгиба подложек измеряли лазерным интерферометром с призмой полного внутреннего отражения [3]. Чувствительность интерферометра составляла $0,6 \text{ мкм}$. Последовательное вдавление тонких (не больше 2 мкм) напряженных слоев проводили с одной стороны подложек химическим травлением в полирующем растворе состава $2\text{HF}-2\text{CH}_3\text{COOH}-5\text{HNO}_3$. При этом другая сторона подложек защищалась химически стойким лаком. Наличие структурных дефектов контролировали методом селективного травления поверхности и сколов подложек в травителе Сиртля. Концентрацию дефектов определяли с помощью оптического микроскопа высокого разрешения Bosch.



Рис. 1а

Травление и оптическая микроскопия обнаруживают сильное различие степени дефектности диффузионных слоев бора и фосфора. После диффузии бора выявляются только единичные дислокации, следы травления которых имеют вид мелких плоскодонных треугольников и темных сравнительно больших треугольных ямок с четкой кристаллографической огранкой (рис. 1а). Последние соответствуют

местам выхода изолированных дислокаций, идущих под большим углом к поверхности. При загонке фосфора появляются разряженные дислокационные сетки, лежащие в плоскости (111) (рис. 1б). Сетки образованы дислокациями, ориентированными по трем эквивалентным кристаллографическим направлениям типа $\langle 110 \rangle$. Разгонка фосфора сопровождается заменой дислокационной сетки сплошным фоном плоскостных треугольников с концентрацией до $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ (рис. 1в).

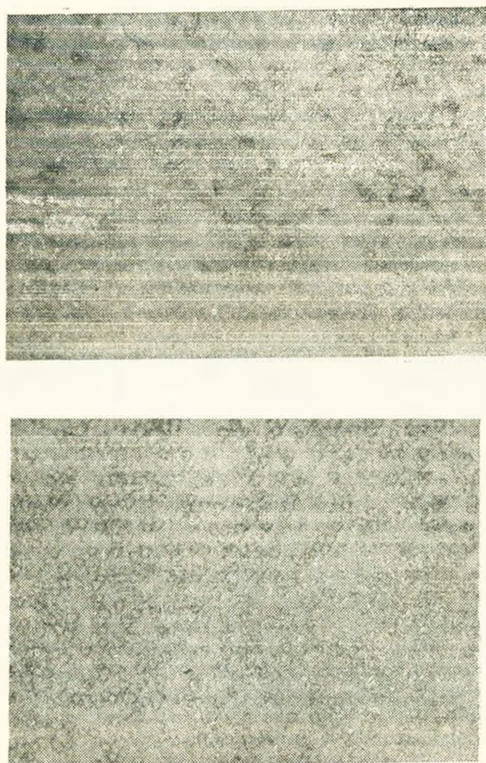


Рис. 1. Образование структурных дефектов после диффузии бора (а), загонки (б) и разгонки (в) фосфора.

Эпюры распределения ОН в диффузионных слоях бора и фосфора, определенные методом деформационных кривых, представлены

на рис. 2 и 3 (сплошные кривые). Там же для сравнения приведены эпюры ОН, определенные механическим и расчетным методами (пунктирные и штрих-пунктирные кривые соответственно)

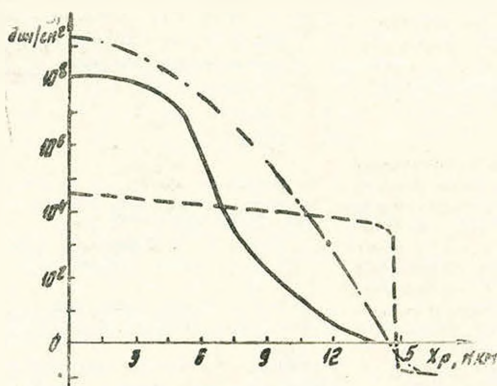


Рис. 2. Эпюры распределения ОН в диффузионном слое бора.

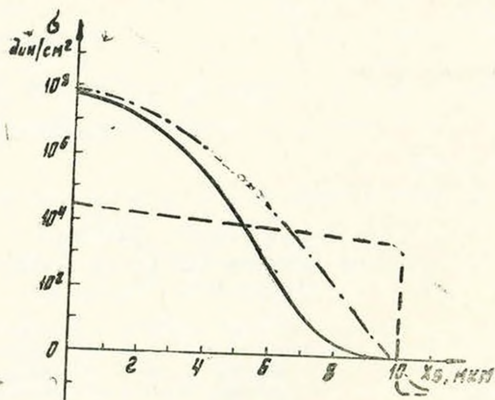


Рис. 3. Эпюры распределения ОН в диффузионном слое фосфора.

Анализ полученных результатов показывает, что расчетный метод дает приближенную оценку ОН только в случае диффузии бора, когда деформация носит упругий характер. Некоторая погрешность расчета может быть связана с несовпадением теоретических и реальных концентрационных кривых распределения примесей в диффузионном слое. При диффузии фосфора, когда вызванные диффузией напряжения превышают предел текучести кремния, имеет место пла-

стическая деформация (релаксация напряжений), приводящая к образованию дислокаций. В результате ОН, вычисленные по формулам Пруссина, оказываются на один—два порядка больше. Механический метод, как следует из рис. 2 и 3, позволяет определить только интегральное значение ОН в диффузионном слое. Однако в данном случае нетрудно восстановить реальную эпюру ОН при условии, что известен закон распределения напряжений (по аналогии с эпитаксиальными структурами [5]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов И. Ф., Федоров А. Г. Определение критической толщины слоя и границ области накопления дислокаций в диффузионно-легированных монокристаллах//Микроэлектроника.—1989.—Т. 18, вып. 1.—С. 56—60.
2. Александров О. В., Кютт Р. Н., Алексис Т. Г. Деформация решетки в слоях кремния, высоколегированных фосфором//Физика твердого тела.—1980.—Т. 22, вып. 10.—С. 2892—2896.
3. Айвазян Г. Е., Сковорода А. М. Расчет внутренних напряжений в системе слой—подложка//Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника.—1986. Вып. 1.—С. 117—120.
4. Биргер А. И. Остаточные напряжения.—М.: Машгиз, 1963.—231 с.
5. Тхорик Ю. А., Хазан Л. С. Пластическая деформация и дислокации несоответствия в эпитаксиальных структурах.—Киев: Наук. думка, 1983.—301 с.

НПО «Транзистор»

11. IV. 1991

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLVI, № 1, 1993, с. 38—42.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.547+66.096.5

Р. Е. АКОПЯН, Р. М. МИРЗАХАНИЯН, Я. А. АЛМАСЯН, С. Е. СИРАДЕГЯН

ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАЗБАВЛЕННОМ СЛОЕ

На основе экспериментальных данных с различными порошкообразными материалами показано, что при пневмотранспорте этих материалов в разбавленном слое потери давления на трение можно определить по ранее выведенному уравнению для пневмотранспорта в плотном слое. Предложен новый способ пневмотранспорта в разбавленном слое.

Ил. 2, Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Տարբեր փոշենման նյութերի հետ կատարված փորձերի տվյալների հիման վրա ցույց է տրված, որ ուղի նյութերի նստր շերտով պնեմատրանսպորտի ժամանակ շփման վրա ծախսվող հնչման կորուստները կարելի է որոշել նախկինում խիտ շերտով պնեմատրանսպորտի համար արտածված բանաձևով: Խոշարված է նստր շերտով պնեմատրանսպորտի նոր նպատակ:

В статье приведены результаты исследований некоторых физических свойств 7 видов порошкообразных материалов НПО «ТУЛА».