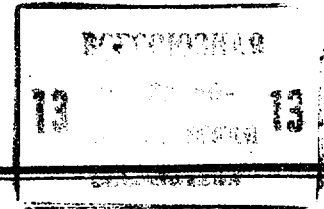




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3558469/18-28
(22) 24.02.83
(46) 23.04.84. Бюл. № 15
(72) В.А. Лабунов, Н.Т. Квасов,
А.К. Полонин, Г.А. Корешков,
Н.Л. Прохоренко и В.Е. Карпов
(71) Минский радиотехнический институт
(53) 620.178.53 (088.8)

(56) 1. Гаврилов Р.А., Скворцов А.М.
Технология производства полупроводни-
ковых приборов. Л., "Энергия", 1968,
с. 167.

2. Авторское свидетельство СССР
№ 669262, кл. G 01 N 3/32, 1977.

3. Авторское свидетельство СССР
№ 868554, кл. G 01 N 27/90, 1981
(прототип).

(54)(57) СПОСОБ КОНТРОЛЯ МЕХА-
НИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛУПРО-
ВОДНИКОВОЙ ПЛАСТИНЕ, заключающийся
в том, что возбуждают изгибные коле-
бания полупроводниковой пластины и из-
меряют первую и вторую резонансные
частоты, по которым вычисляют иско-
мые параметры, отличающийся
с тем, что, с целью повышения точнос-
ти контроля, обеспечения возможности
контроля концентрации и глубины зале-
гания примеси, заземляют пластину по
периметру при помощи цилиндрического
пуансона, нагружают его нормированным
весом P_1 , возбуждают изгибные колеба-
ния пластины и измеряют амплитуды коле-
баний пластины на первой и второй
резонансных частотах, изменяют жест-
кость заделки пластины путем нагруже-
ния пуансона нормированным весом P_2 ,
повторно измеряют первую и вторую
резонансные частоты и амплитуды коле-

баний пластины на этих частотах и по
измеренным значениям амплитуд и час-
тот определяют величину механических
напряжений, концентрацию и глубину за-
легания примеси в пластине по форму-
лам

$$G(z) = \frac{1+\nu}{1-\nu} E \left\{ \alpha_1 N_M^0 \exp \left[-\frac{(z-z_M)^2}{D_M} \right] - \alpha_2 N_B^0 \exp \left[-\frac{(z-z_B)^2}{D_B} \right] \right\}$$

где G - величина механических напря-
жений;

ν - соотношение Пуассона;

E - измеренный модуль Юнга;

α_1, α_2 - коэффициенты пропорциональ-
ности;

N_M^0 - максимальная концентрация
межузельных атомов;

N_B^0 - максимальная концентрация
вакансий;

z_M - координата максимума распре-
деления межузельных атомов;

z_B - координата максимума распре-
деления вакансий;

D_M - дисперсия распределения меж-
узельных атомов;

D_B - дисперсия распределения ва-
кансий;

$$E = E_0 \frac{\Omega_{mn}^2}{\Omega_{mn}^2}$$

Ω_{mn}^2 - резонансная частота колеба-
ний пластин после облучения;

Ω_{mn}^2 - резонансная частота колеба-
ний пластины до облучения;

E_0 - модуль упругости до облучения.

$$n = A_1 \left[\left(\frac{\mu_0}{\mu} \right)^{1/4} - 1 \right]$$

где n - концентрация дефектов;
 A_1 - коэффициент пропорциональности;
 μ_0 - внутреннее затухание до облучения;

μ - внутреннее затухание после облучения.

$$L = \frac{E_0 h}{E - E_0 - \hat{E}}$$

где L - глубина залегания примеси;
 E_0 - модуль Юнга пластины до облучения;
 \hat{E} - модуль Юнга имплантированной области материала;
 h - толщина пластины.

1

Изобретение относится к измерительной технике и неразрушающему контролю физико-механических характеристик твердого тела и может быть использовано для определения механических напряжений, концентрации дефектов и глубины залегания примеси, внедряемой в полупроводниковую пластину, а также толщины окисного слоя при технологических процессах производства полупроводниковых приборов.

Известен способ контроля механических напряжений и толщины окисного слоя на полупроводниковых пластинах, заключающийся в определении веса, диаметра и толщины пластины перед окислением, последующем определении площади окисных пластин и веса пластины после окисления и после травли окисла в плавиковой кислоте [1].

Недостатком способа является низкая точность контроля, обусловленная большими погрешностями при определении размеров и веса пластины относительно контролируемого параметра.

Известен также способ определения остаточных напряжений в поверхностном слое сечения образца [2], заключающийся в том, что образец нагружают в течение заданного числа циклов, измеряют амплитуду ϵ деформации поверхностного слоя и ширину динамической петли гистерезиса и рассчитывают механические напряжения по формуле

$$\sigma = \frac{1}{2} (\epsilon - \Delta \epsilon) E$$

Недостатком способа является низкая точность контроля, обусловленная неоднородностью определения величины меха-

2

нических напряжений, зависящей от жесткости заделки контролируемого образца,

Наиболее близким к изобретению является способ контроля механических напряжений в полупроводниковой пластине, заключающийся в том, что возбуждают изгибные колебания полупроводниковой пластины и измеряют первую и вторую резонансные частоты, по которым вычисляют искомые параметры [3].

Недостатком способа является низкая точность контроля, обусловленная зависимостью результатов контроля от жесткости заделки изделия.

Целью изобретения является повышение точности контроля механических напряжений, обеспечения возможности контроля концентрации и глубины залегания примеси.

Указанная цель достигается тем, что согласно способу контроля механических напряжений в полупроводниковой пластине, заключающемуся в том, что возбуждают изгибные колебания полупроводниковой пластины и измеряют первую и вторую резонансные частоты, по которым вычисляют искомые параметры, заземляют пластину по периметру при помощи цилиндрического пуансона, нагружают его нормированным весом P_1 , возбуждают изгибные колебания пластины и измеряют амплитуды колебаний пластины на первой и второй резонансных частотах, изменяют жесткость заделки пластины путем нагружения пуансона нормированным весом P_2 , повторно измеряют первую и вторую резонансные частоты и амплитуды колебаний пластины на этих частотах и по измеренным значениям

амплитуд и частот определяют величину механических напряжений, концентрацию и глубину залегания примеси в пластине по формулам

$$\sigma(Z) = \frac{1+\nu}{1-\nu} E \left\{ \alpha_1 N_M^0 \exp \left[-\frac{(Z-Z_M)^2}{D_M} \right] - \alpha_2 N_B^0 \exp \left[-\frac{(Z-Z_B)^2}{D_B} \right] \right\}$$

где σ - величина механических напряжений;

ν - соотношение Пуассона;

E - измеренный модуль Юнга;

α_1, α_2 - коэффициенты пропорциональности;

N_M^0 - максимальная концентрация межузельных атомов;

N_B^0 - максимальная концентрация вакансий;

Z_M - координата максимума распределения межузельных атомов;

Z_B - координата максимума распределения вакансий;

D_M - дисперсия распределения межузельных атомов;

D_B - дисперсия распределения вакансий;

$$E = \frac{\Omega_{mn}^2}{\Omega_{mn}^2} E_0$$

Ω_{mn}^2 - резонансная частота колебаний пластины после облучения;

E_0 - модуль упругости до облучения.

$$n = A_1 \left[\left(\frac{\mu_0}{\mu} \right)^{1/4} - 1 \right]$$

где A_1 - коэффициент пропорциональности;

μ_0 - внутреннее затухание до облучения;

μ - внутреннее затухание после облучения.

$$L = \frac{E_0 h}{E - E_0 - \bar{E}}$$

где L - глубина залегания примеси;

E_0 - модуль Юнга пластины до облучения;

\bar{E} - модуль Юнга имплантированной области материала;

h - толщина пластины.

Способ осуществляется следующим образом.

В круглой пластине кремния возбуждают первую форму резонансных изгибных колебаний. Важным условием в исследовании изгибных колебаний является выполнение соотношения $\lambda > h$, где λ - длина волны изгибных колебаний, а h - толщина пластины.

Исходные резонансная частота и соответствующая ей амплитуда колебаний пластины до процесса внедрения примеси, например, путем ионного облучения составляют ω_0 и A_0 .

Собственные частоты Ω_{mn} колебаний такой пластины можно вычислить по формуле

$$\Omega_{mn} = \frac{\alpha_{mn}}{R^2} \left(\frac{D_0}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где α_{mn} - коэффициент, определяемый жесткостью заделки пластины;

$D_0 = \frac{E_0 h^3}{12(1-\nu^2)}$ - жесткость материала пластины;

R - радиус пластины.

После изменения жесткости материала, например, в результате ионной имплантации собственная частота изменяется и становится равной

$$\Omega'_{mn} = \frac{\alpha'_{mn}}{R^2} \left(\frac{D}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (2)$$

где

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$$

Изменение резонансной частоты обусловлено изменением модуля Юнга. Из (1) и (2) имеем

$$\frac{\Omega'_{mn}}{\Omega_{mn}} = \sqrt{\frac{E}{E_0}} \quad (3)$$

или

$$E = E_0 \frac{\Omega_{mn}^2}{\Omega_{mn}^2} \quad (4)$$

Главная причина низкой точности при измерениях, как указывалось выше, является невозможность осуществления абсолютно идентичного зажатия пластины (или заделки) при ее креплении в установке. В предлагаемом способе это устраняется следующим образом.

Возбуждают пластину и измеряют резонансные частоты до имплантации, осу-

пестыля зажатие пластины (ее заделку) грузами весом P_1 и P_2 . Тогда

$$\Omega_{mn}^{P_1} = \frac{\alpha_{mn}^{P_1}}{R^2} \left(\frac{D_0}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$\Omega_{mn}^{P_2} = \frac{\alpha_{mn}^{P_2}}{R^2} \left(\frac{D_0}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (6)$$

После имплантации осуществляют аналогичные измерения. Тогда

$$\Omega_{mn}^{P_1} = \frac{\alpha_{mn}^{P_1}}{R^2} \left(\frac{D}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$\Omega_{mn}^{P_2} = \frac{\alpha_{mn}^{P_2}}{R^2} \left(\frac{D}{\rho h} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Из формул (5)–(8) следует, что необходимым и достаточным условием идентичности зажатия пластины до и после имплантации является соотношение

$$\frac{\Omega_{mn}^{P_1}}{\Omega_{mn}^{P_2}} = \frac{\Omega_{mn}^{P_1}}{\Omega_{mn}^{P_2}} = \beta, \quad (9)$$

где

$$\beta = \frac{\alpha_{mn}^{P_1}}{\alpha_{mn}^{P_2}}$$

Получив при первичном определении собственные частоты для различных нагрузок P_1 и P_2 и величину β , после имплантации осуществляют аналогичные измерения и используют те частоты, отношение которых дает ту же величину β .

Зная значения резонансных частот и амплитуд до и после процесса внедрения примеси, определяют концентрацию дефектов из формулы

$$n = A_1 \left[\left(\frac{\mu_0}{\mu} \right)^{1/4} - 1 \right]. \quad (10)$$

Распределение напряжений по глубине структуры определяется выражением

$$G(z) = \frac{1+j}{1-j} E \left\{ \alpha_1 N_M^0 \exp \left[-\frac{(z-z_M)^2}{D_M} \right] \right\}$$

$$- \alpha_2 N_B^0 \exp \left[-\frac{(z-z_B)^2}{D_B} \right], \quad (11)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, N_M^0, N_B^0, z_M, z_B$ – табулированные постоянные;

E – определяется из (4).

Глубина залегания примеси определяется следующей формулой:

$$L = \frac{E_0 h}{E - E_0 - \bar{E}}, \quad (12)$$

где \bar{E} – модуль Юнга имплантированного слоя;

h – толщина пластины.

На чертеже представлена схема устройства для реализации способа.

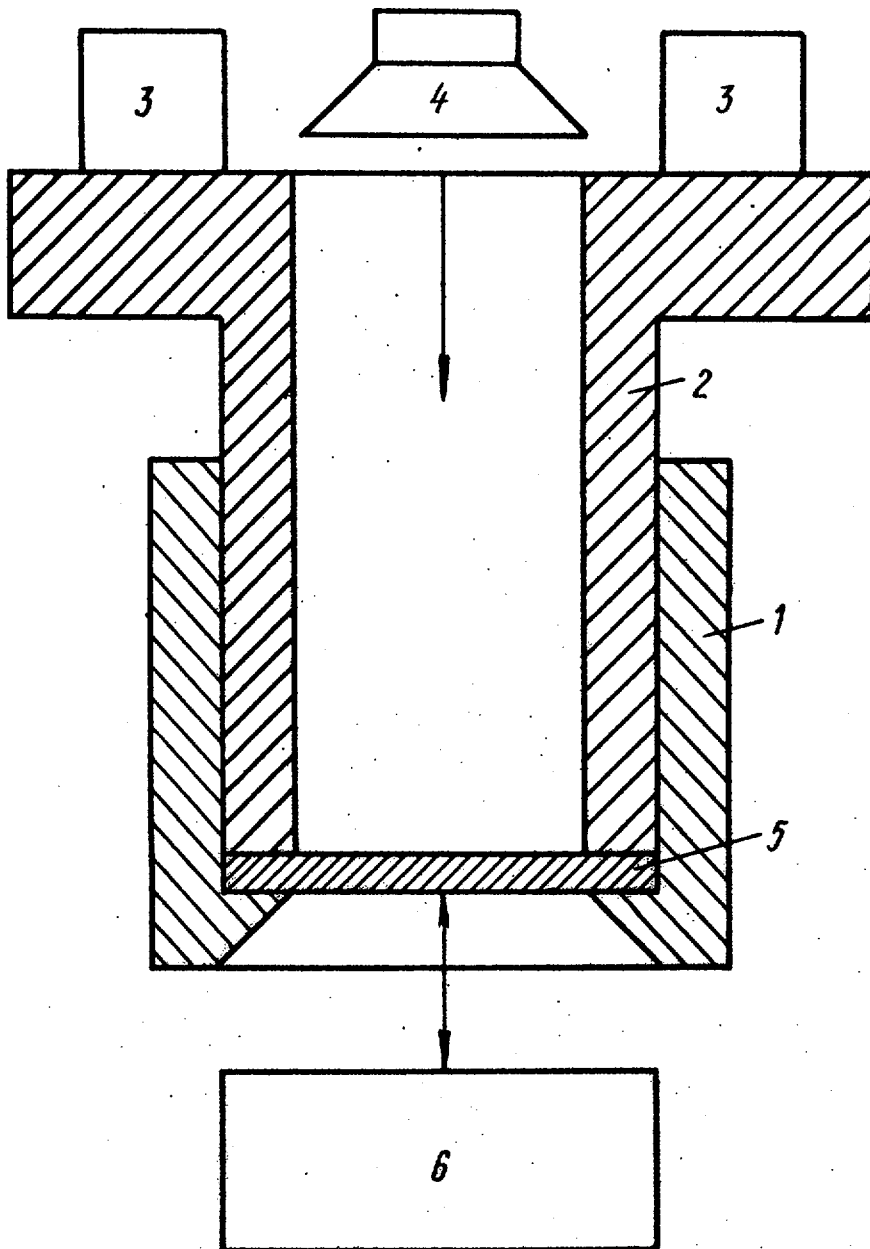
Устройство содержит оправку 1, пуансон 2, элементы 3 нагружения пуансона, источник 4 возбуждения упругих изгибных колебаний в контролируемой пластине 5, блок 6 измерения амплитуды и резонансной частоты колебаний пластины.

В качестве источника 4 возбуждения изгибных колебаний в пластине используется акустический излучатель, например, 1А-18 ($\Delta f = 0-18$ кГц, $P = 0-100$ дБ). Блок 6 измерения амплитуды и резонансной частоты колебаний пластины представляет собой лазерный интерферометр, выполненный на базе лазера типа ОКГ-13.

При помощи данного устройства определяются резонансная частота и амплитуда пластины на резонансной частоте до внедрения примеси и после операции внедрения с использованием двух нагрузок P_1 и P_2 , после чего определяются механические напряжения, концентрация и глубина слоя внедрения по соответствующим формулам.

Как следует из экспериментальных данных, увеличение дозы имплантируемой примеси приводит к увеличению резонансной частоты и амплитуды колебаний, что объясняется увеличением упругости поверхностного слоя полупроводниковой пластины.

Использование способа позволит оперативно и с высокой точностью определить как остаточные напряжения, так и концентрацию и глубину залегания примесей.



Составитель А. Чистяков

Редактор Т. Кургышева Техред М.Надь Корректор Г. Огар

Заказ 2643/35

Тираж 547

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент" г. Ужгород, ул. Проектная, 4