

- [6] *Voitkiv A.B., Pazdersky V.A.* // J. Phys. B. 1988. Vol. 21. P. 3369.
 [7] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. М.: Наука, 1989.
 [8] *Матвеев В.И.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. С. 1176.
 [9] *Bohr N.* // Phys. Mag. 1913. Vol. 25. P. 10. 1915. Vol. 30. P. 581. Избранные научные труды. М.: Наука, 1970. Т. 1. С. 63.
 [10] *Справочник по специальным функциям / Под ред. М.Абрамовица и И.Стиган.* М.: Наука, 1979.

06;12
 © 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 7, 1994

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛАСТИНЕ С ИСКУССТВЕННО НАВЕДЕННОЙ НЕОДНОРОДНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

И.П.Жадько, С.И.Козловский, В.А.Романов

Институт физики полупроводников, 252028, Киев
 (Поступило в Редакцию 11 августа 1993 г.)

Интегральные полупроводниковые датчики механических величин находятся в центре фундаментальных и прикладных исследований. Наибольшим спросом среди них пользуются интегральные датчики давления на основе кремния. Ранее с целью оптимизации выходных характеристик были проведены исследования чувствительных элементов датчиков давления на основе кольцевой структуры [1,2]. При этом распределение механических напряжений (а значит, и параметра анизотропии) в области расположения чувствительного элемента на полупроводниковой мембране датчика при ее нагружении было однородным.

В настоящей работе мы рассмотрим случай неоднородного (линейного) изменения параметра анизотропии в области расположения кольцевого чувствительного элемента. Такого рода деформация возникает в профилированной полупроводниковой мембране с жестким центром при равномерном нагружении ее поверхности [3-5]. Интерес к ним обусловлен возможностью получения преобразователей с повышенной линейностью нагрузочных характеристик [3,4].

Рассмотрим перераспределение электрического потенциала в xy -плоскости исходно изотропной полупроводниковой пластины при ее неоднородной, линейно изменяющейся одноосной деформации, которая создает анизотропию проводимости. Пластина ограничена кольцевыми электродами радиусами R_1 и R_2 соответственно (рис. 1).

Распределение потенциала φ в тонкой пластине $R_2 - R_1 \ll d$ (d — толщина пластины) описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma_{xx} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sigma_{yy} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\varphi(x, y) = \varphi_1 \quad \text{при} \quad x^2 + y^2 = R_1^2, \quad (2)$$

$$\varphi(x, y) = 0 \quad \text{при} \quad x^2 + y^2 = R_2^2. \quad (3)$$

Здесь $\hat{\sigma}$ — тензор электропроводности, главные направления которого совпадают с осями координат. В нашем случае, когда анизотропия электропроводности мала ($|\varepsilon| \ll 1$, $\varepsilon = (\sigma_{xx}/\sigma_{yy} - 1)/2$).

$$\sigma_{xx}(x) = \sigma_0(1 - \varepsilon x/R_2), \quad \sigma_{yy}(x) = \sigma_0(1 + \varepsilon x/R_2), \quad (4)$$

где σ_0 — электропроводность недеформированного кристалла.

Решение задачи (1)–(4) имеет вид

$$\varphi = \varphi_1 [\ln z / \ln z_0 + \varepsilon A(z, z_0) \cos 3\theta], \quad (5)$$

$$A(z, z_0) = \frac{z}{8 \ln z_0} \left[1 - z^2 + \frac{(z^2 - z^{-4})z_0^4}{z_0^4 + z_0^2 + 1} \right], \quad (6)$$

где $z_0 = R_1/R_2$; $z = |\mathbf{R}|/R_2$; \mathbf{R} — текущий радиус; θ — полярный угол, который отсчитывается от оси Ox .

Проанализируем выражение (5). В отсутствие анизотропии электропроводности распределение потенциала имеет радиальную симметрию. В анизотропном случае симметрия нарушается. Следовательно, между точками, размещенными на заданной концентрической окружности, будет возникать разность потенциалов при $\varepsilon \neq 0$. Величина ее, согласно (5), будет зависеть от ряда параметров.

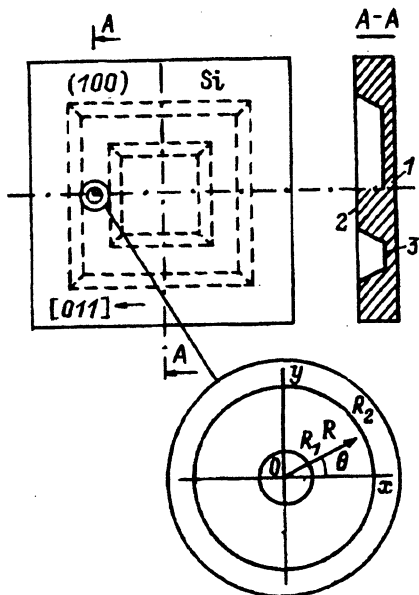


Рис. 1. Расположение чувствительного элемента на мембране.

1 — чувствительный элемент, 2 — жесткий островок, 3 — тонкая область (долина) мембраны.

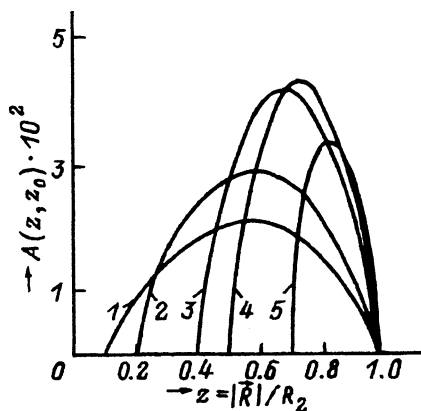


Рис. 2.

z_0 : 1 — 0.1, 2 — 0.2, 3 — 0.4, 4 — 0.5, 5 — 0.7.

В частности, при прочих равных условиях максимальная разность потенциалов будет возникать между теми исходно эквипотенциальными точками, которые лежат под углом $\pi/3$ по отношению к осям координат ($\cos 3\theta = \pm 1$).

Определим соотношение между R_1 и R_2 , а также величину $|R|$, для которой разность потенциалов будет максимальна. Для этого определим максимум выражения $A(z, z_0)$. На рис. 2 показана зависимость $A(z)$ при различных величинах $z_0 = R_1/R_2$. Как видно из рисунка, максимум $A(z) = 4.3 \cdot 10^{-2}$ достигается при $z_0 = 0.5$ и $z = 0.75$. В этих условиях значение разности потенциалов будет

$$\delta\varphi_{\max} = 8.6 \cdot 10^{-2} \varphi_1 \varepsilon. \quad (7)$$

Заметим, что в случае однородного параметра анизотропии максимальное изменение достигается при $z_0 = 0.2$ и $z = 0.5$ [1]. Это различие обусловлено тем, что в условиях неоднородного параметра анизотропии неэффективной (с точки зрения изменения потенциала) является центральная область чувствительного элемента, где анизотропия проводимости практически отсутствует (см. (4) при $x \rightarrow 0$).

Для указанной на рис. 1 кристаллографической ориентации кольцевого элемента (на основе p -Si)

$$\varepsilon \approx \pi_{44}^{(p)} |X|/2, \quad (8)$$

где $\pi_{44}^{(p)}$ — сдвиговый пьезорезистивный коэффициент для Si p -типа проводимости; X — максимальное значение механического напряжения, обусловленное нагружением мембраны.

В заключение отметим, что для конструкции чувствительного элемента, представленного на рис. 1, оптимальное размещение зондовых электродов для регистрации изменения потенциала, обусловленного равномерным нагружением мембраны, будет при углах $\theta = 0$ и $\theta = \pi$. В этом случае конструкция кольцевого элемента нечувствительна к однородной деформации, возникающей при сборке, корпусировании датчика давления, а также при больших прогибах полупроводниковой мембраны.

Список литературы

- [1] Гузь В.Н., Жадько И.П., Козловский С.И., Романов В.А. // ФТП. 1990. Т. 24. Вып. 3. С. 409–412.
- [2] Бабичев Г.Г., Гузь В.Н., Жадько И.П. и др. // ФТП. 1992. Т. 26. Вып. 10. С. 1723–1727.
- [3] Yasukawa A., Shimazoe Y., Matsuoka Y. // IEEE Trans. on ED. 1989. Vol. 36. N 7. P. 1295–1302.
- [4] Shimazoe M., Matsuoka Y., Yasukawa A., Tanabe M. // Sensors and Actuators. 1982. Vol. 2. N 2. P. 275–282.
- [5] Wilner L.B. // ISA Trans. 1978. Vol. 17. N 1. P. 83.