

УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОВ КОСВЕННОЙ ДОЗИМЕТРИИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Л.И.Гурский, В.И.Киселев, В.И.Хитко
Минский НИИ Радиоматериалов, РБ, г.Минск, ул.Кижеватова, 86,
e-mail pb9231@belsonet.by

Методом последовательных приближений исследуются вопросы учета исходного технологического разброса в структурах, используемых в косвенной дозиметрии ионной имплантации. Приведены аналитические критерии сходимости, следствием которых является ограничение возможностей применения некоторых физических эффектов для контроля неоднородности дозы.

1. Введение

Среди методов диагностики оборудования ионной имплантации важное место принадлежит косвенному контролю непосредственно на облучаемой мишени, позволяющему наиболее точно оценить связь конструктивных решений с воспроизводимостью и однородностью набранной дозы ионов. Достоверность информации при прямом измерении дозы вынужденно занижена, т.к. измерительные средства располагаются обычно за пределами площади фактической обработки, а обращение к пучку за информацией происходит дискретно. Особую актуальность задача косвенной дозиметрии приобретает в связи с необходимостью точного контроля широко используемых в технологии СБИС доз менее 10^{11} см⁻², где прямые методы обладают резко сниженным соотношением "сигнал-шум" при измерении сверхмалых ионных токов.

Чаще всего тестовая структура сама является продуктом микроэлектронной технологии, т.е. проходит ряд стандартных технологических операций, в результате чего исходный измеряемый параметр Π_0 имеет неизбежный разброс по поверхности. Этот разброс, интегрируясь с дозой неоднородностью, может существенно исказить общую картину диагностики. Поэтому производят пространственное сканирование поверхности тест-структуры с тем, чтобы впоследствии "отсечь" фактор технологической неоднородности исходного параметра. Существующие способы учитывают влияние разброса Π_0 однократным образом по фиксированным опорным дозам [1], не принимая во внимание возможности уточнения результата за счет дальнейшего использования полученного распределения дозы. В настоящей работе рассматриваются общие принципы получения более полной информации о распределении дозы, а также исследуются ограничения эффективности дозиметрических свойств, которые обусловлены присутствием технологического фактора.

2. Результаты

Поставленная задача будет тем ближе к решению, чем с большей степенью достоверности известна зависимость

$$\Pi = \Pi(\Pi_0, D), \quad (1)$$

где Π - параметр, измеренный после внедрения дозы D .

Эту зависимость можно рассматривать как уравнение для нахождения D в любой (i -й) точке поверхности тестового образца. Построение функции (1) фактически сводится к двум сериям кривых $\Pi(D)|_{\Pi_0=const}$ и $\Pi(\Pi_0)|_{D=const}$. На

самом деле величины Π_0 и D не фиксированы, а некоторым образом распределены по поверхности тест-структуры. Поэтому учет перекрестного влияния разбросов Π_0 и D на параметр дозы Π может быть произведен методом последовательных приближений.

На первом этапе строится зависимость $\Pi(\Pi_0)$ без учета разброса по D (опорные дозы оцениваются усредненно прямыми методами). Далее получают калибровочные кривые $\Pi(D)$, в которых учтена поправка $\frac{\Delta \Pi}{\Pi}$ на относительный разброс Π_0 :

$$\left(\frac{\Delta \Pi}{\Pi}\right)_i \approx \left(S_{\Pi_0}^{\Pi}\right)_i \left(\frac{\Pi_{oi} - \bar{\Pi}_0}{\bar{\Pi}_0}\right), \quad (2)$$

$$\left(S_{\Pi_0}^{\Pi}\right)_i = \frac{\partial \Pi_i}{\partial \Pi_{oi}} \frac{\Pi_{oi}}{\Pi_i}, \quad (3)$$

$$\bar{\Pi}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Pi_{oi},$$

где $\left(S_{\Pi_0}^{\Pi}\right)_i$ - чувствительность параметра

дозы к своему начальному значению в заданной точке.

Это, в свою очередь, позволяет осуществить первоначальную оценку распределения дозы. Затем процедура повторяется, но уже по всей совокупности $\{D\}$, которая с каждой последующей итерацией должна приближаться к реальной вследствие более точно определенной зависимости $\Pi(\Pi_0)$.

Сходимость описанного алгоритма к истинному распределению $\{D\}$ означает технологическую устойчивость соответствующего метода измерения дозы, т.е. допускает принципиальную возможность определения неоднородности дозы.

Практически во всех случаях можно заранее предположить аналитический вид функции (1), возможно, с высокой, но достаточной для описания характера этой зависимости, степенью приближения. Тогда устойчивость косвенного способа дозиметрии в смысле сходимости алгоритма учета технологического разброса эквива-



лентна совокупности условия, которые можно записать в следующем обобщенном виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_{n-1}} \right| < 1, \\ \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_{n-1}} = \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_{m,1-m}} \frac{\partial \Pi_{m,1-m}}{\partial \Pi_{n-1}} \\ n = 1, 2, \dots; i = \begin{cases} 0, 1, \dots, n & n > 1 \\ 1 & n = 1 \end{cases} \quad \begin{matrix} l = 0, 1, \dots, n-1 \\ m = 0, 1 \end{matrix} \end{array} \right. \quad (4)$$

где $\Pi_{\alpha, \beta}(\Pi_0, D)$ - элемент группы перестановок с повторением, содержащий Π_0 и D .

На практике достаточно ограничиться расчетом для $n=2$, при котором выражение (4) приобретает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_{n-1}} \right| = \left| \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_0} \frac{\partial \Pi_0}{\partial \Pi_{n-1}} \right| < 1 \quad (4') \\ \left| \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_0} \right| = \left| \frac{\partial \Pi_{n-1}^{S...S}}{\partial \Pi_0} \frac{\partial \Pi_0}{\partial \Pi_{n-1}} \right| < 1 \quad (4'') \end{array} \right.$$

В (4), (4'), (4'') учтено взаимное перекрестное влияние разбросов D - и Π_0 -факторов на разброс Π .

Смысл приведенных условий состоит в том, что чувствительность, являясь фактически коэффициентом пересчета погрешности по Π_0 или D в погрешность параметра дозы, также должна быть достаточно устойчивой к этим переменным, т.е. слабо изменяться при их относительных вариациях. Одновременно можно говорить и о шумовой интерпретации технологических факторов. Тогда ограничения (4) означают существование нежесткого предельного уровня отношения "сигнал-шум".

К процессам взаимодействия ионов с веществом, которые формально могли бы найти применение в качестве высокочувствительных методов тестирования дозы в установке ионного легирования, можно отнести, например, интерференцию в тонких пленках в сочетании с изменением показателя преломления при ионной бомбардировке. Ответственный за когерентные эффекты член здесь имеет вид:

$$I = I_{\max} \cos\left(\frac{4\pi d n}{\lambda}\right); \quad (5)$$

$$I_0 = I_{\max} \cos\left(\frac{4\pi d n_0}{\lambda}\right), \quad (5')$$

где I -интенсивность монохроматического света с длиной волны λ , проходящего через пленку толщиной d ; n_0 , n - соответственно, показатели преломления до и после имплантации.

Условия (4') и (4'') нарушаются для (5), (5') в окрестности решения уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin\left(\frac{4\pi d n}{\lambda}\right) = 0; \sin\left(\frac{4\pi d n_0}{\lambda}\right) = 0, \\ \cos\left(\frac{4\pi d n}{\lambda}\right) = 0; \cos\left(\frac{4\pi d n_0}{\lambda}\right) = 0, \end{array} \right. \quad (6)$$

т.е. такой метод контроля при $\Pi=I$ является в целом технологически неустойчивым и не может быть использован в технике ионной имплантации. Действительно, если пленка - слой поликремния (один из наиболее оптически чувствительных к облучению ионами стандартных технологических материалов), то при $n_0 \approx 4$, $d/\lambda \approx 1$ точки неустойчивости будут соответствовать 3%-ному изменению аргументов в (6) за счет технологического разброса по толщине; на такую же величину может меняться n относительно n_0 . Поэтому оказывается невозможным создание такого тестового образца, который или исходно, или в процессе внедрения ионов не оказывался бы локально в области технологической неустойчивости.

3. Выводы

1. Описана принципиальная схема алгоритма учета начального технологического разброса измеряемого параметра в методах косвенной дозиметрии ионной имплантации.

2. Приведены критерии технологической устойчивости, обеспечивающие сходимость указанного алгоритма.

3. Показано, что фактор технологической неустойчивости приводит к невозможности практического использования метода для диагностики имплантационных установок.

Список литературы

1. Djamdji F., Gorvin A.C., Feeston I.L., Tozer R.J., Mayes I.C., Blight S.R. // Meas. Sci. and Technol. - 1996. - 7, №3. - pp.391-395.

STABILITY OF METHODS INDIRECT DOSE MEASUREMENTS OF ION IMPLANTATION

L.I.Gurskii, V.I.Kiselev, V.I.Khitko

Minsk Research Institute of Radiomaterials, 86, Kizhevatov str., BY-220024, Minsk, Belarus,
e-mail pb9231@belsonet.by

The method of successive approximations investigates problems of the account of initial technological dispersion in structures used in the field of indirect dose measurements of ion implantation. An essential singularity of an offered method is the capability of clarification of distribution of a dose D on some step at the expense of use of similar distribution on the previous step. The convergence of this algorithm is equivalent to fulfilment of a number of analytical conditions, which essence is reduced that sensitivity of parameter of a dose Π to the reference value Π_0 can be though also high, but it is necessary slow change function from Π_0 , D . The use of approximate approximating of a calibration curve reflecting only character of actual dependence $\Pi(D)$ suffices for the conclusion of rather technological stability of a method indirect dose measurements. The example of a unstablis method based on the phenomenon of an optical interference is resulted.

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 6-8 октября 1999 г. Минск, Беларусь
3-я International Conference «Interaction of Radiation with Solids», October 6-8 1999, Minsk, Belarus



This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.

To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm