

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  
ДОБРОТНОСТИ ВАРИКАПА ОТ ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ И  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Игнатенко И. П., Литвиненко В.Н., Самойлов Н.А.,  
Херсонский национальный технический университет

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF DEPENDENCE OF  
GOOD QUALITY VARICAPS FROM ITS PHYSICAL AND ELECTRIC  
PARAMETERS**

Ignatenko I.P., Litvinenko V. N., Samoilo N.A.,  
Kherson national technical university

**Аннотация**

**Экспериментальное исследование зависимости добротности  
варикапа от его физических и электрических параметров**

*Разработана методика прогнозирования величины добротности  
варикапа по значениям его электрических параметров. Представлены  
результаты экспериментального исследования зависимости величины  
добротности варикапа от его напряжения пробоя и коэффициента  
перекрытия по емкости. Приведены экспериментальные графики полученных  
зависимостей.*

**Ключевые слова:** добротность, варикап, напряжение пробоя, коэффициент  
перекрытия по емкости.

**Annotation**

**Experimental research of dependence of  
good quality varicaps from its physical and electric parameters**

*Developed a method of forecasting values of figure of merit of varicap by the  
values of its electrical parameters. Presents the results of experimental research of*

*dependence of q-factor of varicaps from its breakdown voltage and overlap ratio capacity. Experimental graphics obtained dependences..*

**Keywords:** quality, varicap, breakdown voltage, the ratio of capacity.

**Введение.** Зависимость добротности варикапа от его физических параметров выражается формулой [1] :

$$Q = \frac{1}{2\pi f C_{ном} R_{посл}}, \quad (1)$$

где  $C_{ном}$  - номинальная емкость варикапа;

$f = 50$  МГц - частота переменного напряжения, которое прикладывается к варикапу при измерении добротности одновременно с обратным постоянным смещением;

$R_{посл}$  - сопротивление структуры варикапа, примерно равное сопротивлению базы варикапа (сопротивлением контактов рабочей и обратной сторон кристалла пренебрегаем, так как они малы);

$$R_{посл} \approx R_{б} = \rho_{эп} * W_{б} / S_{p-n}, \quad (2)$$

где  $S_{p-n}$  - площадь p-n перехода варикапа;  $\rho_{эп}$  - удельное сопротивление эпитаксиальной пленки;

$W_{б}$  - толщина базы варикапа:

$$W_{б} = d_{эп} - X_j - d_1 - W_1, \quad (3)$$

где  $d_{эп}$  - толщина эпитаксиальной пленки;  $X_j$  - глубина залегания p-n перехода;

$d_1$  - расширение ОПЗ p-n перехода при постоянном обратном напряжении, которое прикладывается к варикапу при измерении добротности ;

$W_1$  - смещение подложки в эпитаксиальную пленку в процессе всех высокотемпературных операций (степень "размытия" границы раздела подложка-эпитаксиальная пленка).

На рис. 1 приведено структуру исследуемого варикапа.

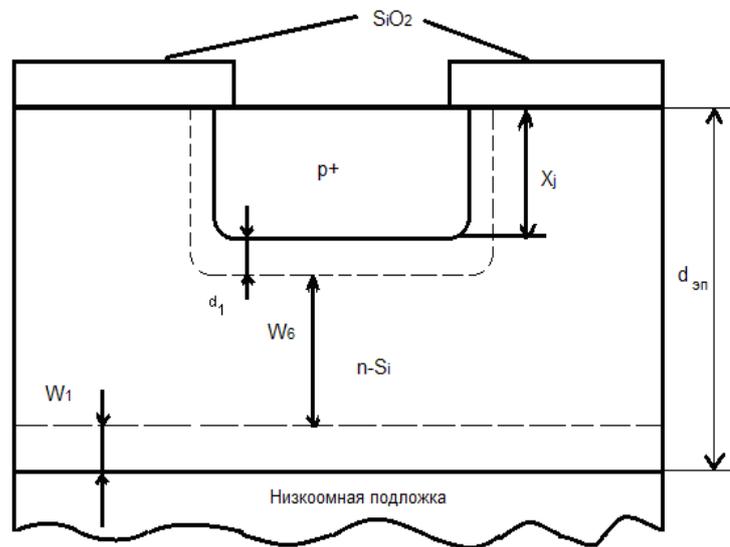


Рис. 1. Структура варикапа

Традиционно прогнозирование добротности варикапов проводят по величине удельного сопротивления и толщине слоя эпитаксиальной пленки. Но как показывает практика производства варикапов, исходные параметры эпитаксиальной пленки (толщина и удельное сопротивление) могут неконтролируемо изменяться от одной партии пластин к другой, то есть не имеют фиксированных значений. Это приводит к значительному разбросу величины добротности варикапов и уменьшению выхода годных приборов.

Из формул (1 - 3) видно, что сопротивление структуры варикапа зависит от большого количества факторов. Многие из этих факторов не связанные с измерением удельного сопротивления и толщины исходной эпитаксиальной пленки, поэтому ориентироваться при прогнозировании величины добротности варикапа только на значения этих двух параметров было бы некорректно. К тому же при измерении величин толщины и удельного сопротивления эпитаксиальной пленки всегда имеет место погрешность измерения. Исходя из

этого, возникает необходимость проведения исследований, направленных на нахождение зависимости величины добротности варикапа от значений некоторых его электрических параметров, а конкретно, от величины пробивного напряжения и коэффициента перекрытия по емкости. Это даст возможность проводить прогнозирование величины добротности варикапов на ранних стадиях их изготовления.

**2. Цель и задачи исследования.** В производстве варикапов, каждый тип прибора имеет несколько групп, отличающихся по добротности – низкодобротные и высокодобротные. Потребности варикапов той или иной группе зависят от заказов потребителей, которые могут непредсказуемо изменяться. В связи с этим, данная работа посвящена нахождению связи между отдельными электрическими параметрами варикапа и его добротностью с целью установления раннего прогноза величины добротности.

**3. Материалы и методы исследования.** Исходным материалом для изготовления варикапа использовались кремниевые эпитаксиальные пленки с удельным сопротивлением  $1,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  и толщиной  $10 \text{ мкм}$ .

Структуры варикапов были изготовлены по планарно - эпитаксиальной технологии [2]. Технологический процесс их изготовления включал три высокотемпературные операции: окисление при температуре  $1050^\circ\text{C}$  в среде водяного пара на протяжении 90 минут, первую стадию диффузии бора (загонку) из источника  $\text{B}_2\text{O}_3$  при температуре  $1100^\circ\text{C}$  продолжительностью 25 минут, вторую стадию диффузии бора (разгонку) при температуре  $1150^\circ\text{C}$  на протяжении 80 минут до цикла: сухой  $\text{O}_2$  (10 минут) – влажный  $\text{O}_2$  (60 минут)-сухой  $\text{O}_2$  (10 минут).

3.1. Исследование зависимости добротности варикапа от величины его пробивного напряжения.

Будем считать, что р-п переход у нас плоский. Пробивное напряжение плоского резкого р<sup>+</sup>-п перехода определяется по формуле [3]:

$$U_{np} = 96\rho_{эн}^{0,78} . \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), пробивное напряжение варикапа зависит от величины удельного сопротивления эпитаксиального слоя.

При увеличении обратного напряжения, которое прикладывается к варикапу, расширение области пространственного заряда (ОПЗ)  $p^+ - n$  перехода  $d_1$  будет смещаться в сторону подложки, уменьшая толщину базы варикапа  $W_0$  (рис.1). При соответствующей величине обратного напряжения варикапа область пространственного заряда  $d_1$ , расширяясь, соединится с областью "размытия" границы раздела подложка - эпитаксиальная пленка, которая образуется в результате диффузии легирующей примеси с низкоомной подложки в эпитаксиальную пленку в процессе всех высокотемпературных операций. Поэтому чем меньше толщина эпитаксиальной пленки, тем при меньшем обратном напряжении область пространственного заряда  $d_1$  соединится с областью "размытия", где удельное сопротивление пленки меньше удельного сопротивления базы варикапа. При этом, в соответствии с формулой (4), напряжение пробоя варикапа уменьшится. А так как добротность варикапа обратно пропорционально зависит от величины удельного сопротивления и толщины эпитаксиальной пленки, то очевидно, что с увеличением "размытия" границы раздела подложка – эпитаксиальная пленка и уменьшением толщины базы величина добротности варикапа будет увеличиваться.

3.2. Исследование зависимости величины добротности варикапа от коэффициента перекрытия по емкости.

Величина добротности варикапа определяется в основном сопротивлением базы варикапа, которая, в свою очередь, зависит от толщины эпитаксиальной пленки и ее удельного сопротивления (см. формулы (1-3)). Как уже отмечалось выше, при измерении толщины и удельного сопротивления эпитаксиальной пленки имеет место погрешность измерения, поэтому была поставлена задача установить зависимость добротности варикапа от других электрических параметров. Удобным параметром для реализации этой цели, как показала практика, является коэффициент перекрытия по емкости.

Коэффициент перекрытия по емкости  $K_c$  можно рассчитать по формуле [1]:

$$K_c = C_{\max}/C_{\min}, \quad (5)$$

где  $C_{\min}$  – емкость варикапа при максимальном значении обратного напряжения, приложенного к прибору;

$C_{\max}$  – емкость варикапа при минимальном значении обратного напряжения, приложенного к прибору.

Емкость варикапа рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ном}} = S_{p-n} \sqrt{\frac{e \epsilon \epsilon_0 N_{\text{эп.}}}{2(\varphi_k + U_{\text{обр}})}}, \quad (6)$$

где  $\varphi_k$  - контактная разность потенциалов между p - и n - областью;

$U_{\text{обр}}$  - напряжение обратного смещения;

$N_{\text{эп}}$  - концентрация легирующей примеси в базе;

$\epsilon_0, \epsilon$  - диэлектрическая проницаемость, соответственно вакуума и кремния.

Проанализировав формулы (1-3), можно сделать вывод, что на разброс величины добротности варикапа могут влиять флуктуации толщины эпитаксиального слоя и степень "размытия" границы раздела подложка - эпитаксиальная пленка за счет диффузии легирующей примеси с низкоомной подложки в эпитаксиальную пленку. "Размытие" границы раздела подложка - эпитаксиальная пленка в процессе проведения высокотемпературных технологических операций может реально изменить значение величины удельного сопротивления эпитаксиальной пленки по сравнению со значением удельного сопротивления, которое было получено при измерении физических параметров исходных эпитаксиальных пленок. Следовательно, прогноз величины добротности варикапа на основе измеренных значений  $\rho_{\text{эп}}$  и  $d_{\text{эп}}$  может оказаться ошибочным.

#### 4. Экспериментальные данные и их обработка.

4.1. Исследование зависимости добротности варикапов от величины его напряжения пробоя, проведенное на 205 пластинах, показало явную зависимость значений добротности варикапа от напряжения пробоя ( $U_{пр}$ ). При этом низкие значения добротности соответствовали высоким значениям  $U_{пр}$  и наоборот. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость  $Q$  от  $U_{пр}$ .

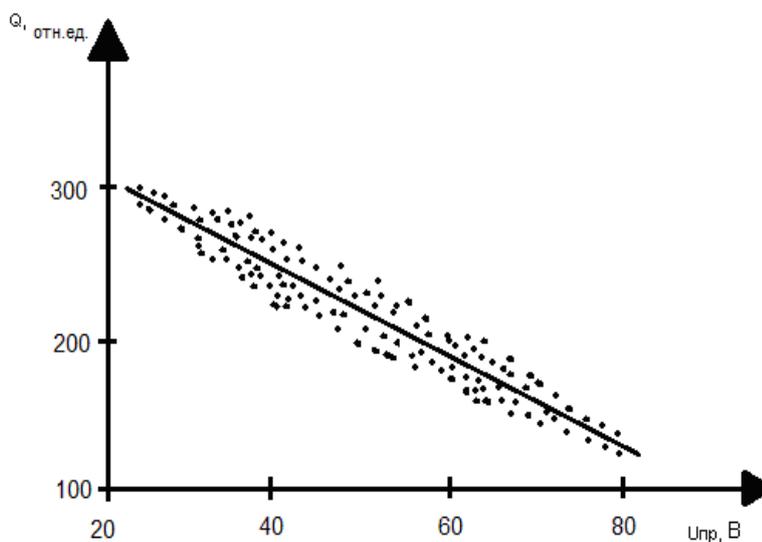


Рис. 2. Зависимость добротности варикапа от его напряжения пробоя

Из рис. 2 видно, что с уменьшением величины напряжения пробоя добротность варикапа растет и наоборот - добротность варикапа уменьшается при увеличении напряжения пробоя.

4.2. Исследование зависимости добротности варикапа от величины коэффициента перекрытия по емкости было проведено на 230 пластинах и показало явную зависимость значений добротности варикапа от значений коэффициента перекрытия по емкости. Причем  $S_{min}$ , которая определяет величину  $K_c$  в соответствии с формулой (5), зависит от концентрации примеси в базе варикапа как и добротность варикапа (см. формулы (1, 2, 6)).

На рис. 3 приведена экспериментальная зависимость добротности варикапа от величины коэффициента перекрытия по емкости.

Как видно из рис. 3, с уменьшением величины  $K_c$  добротность варикапа растет, а при увеличении - наоборот уменьшается.

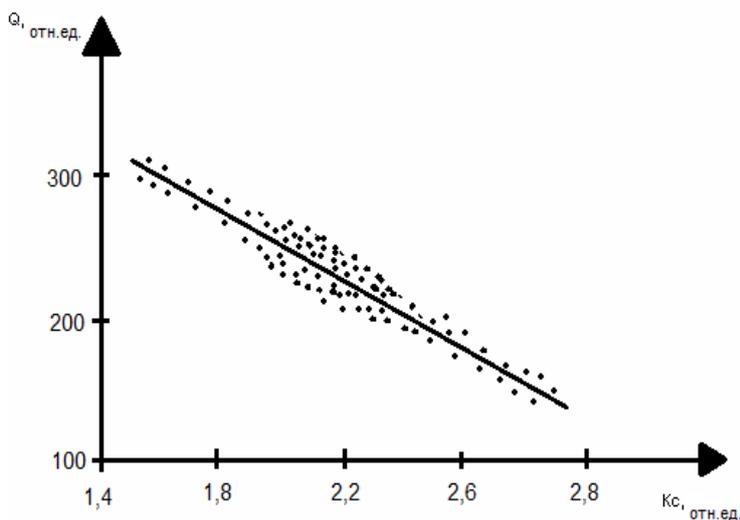


Рис. 3. Зависимость добротности варикапа от величины коэффициента перекрытия по емкости

**5. Выводы.** Разработана методика прогнозирования величины добротности варикапа по значениям его электрических параметров. Разработанные графики зависимости величины добротности варикапа от величин его напряжения пробоя и коэффициента перекрытия по емкости могут быть использованы в производстве варикапов для диагностики величины его добротности на ранних стадиях изготовления прибора. Это позволит более оптимально выполнять заказы потребителей продукции.

#### Литература

1. Берман Л.С. Введение в физику варикапов. - Л.: Наука, 1968. - 720с.
2. Курносков А.И., Юдин В.В. Технология изготовления ПП и ИМС. -М.: Радио и связь, 1986.- 368с.
3. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы. -М.: Энергоатомиздат, 1990.- 576с.