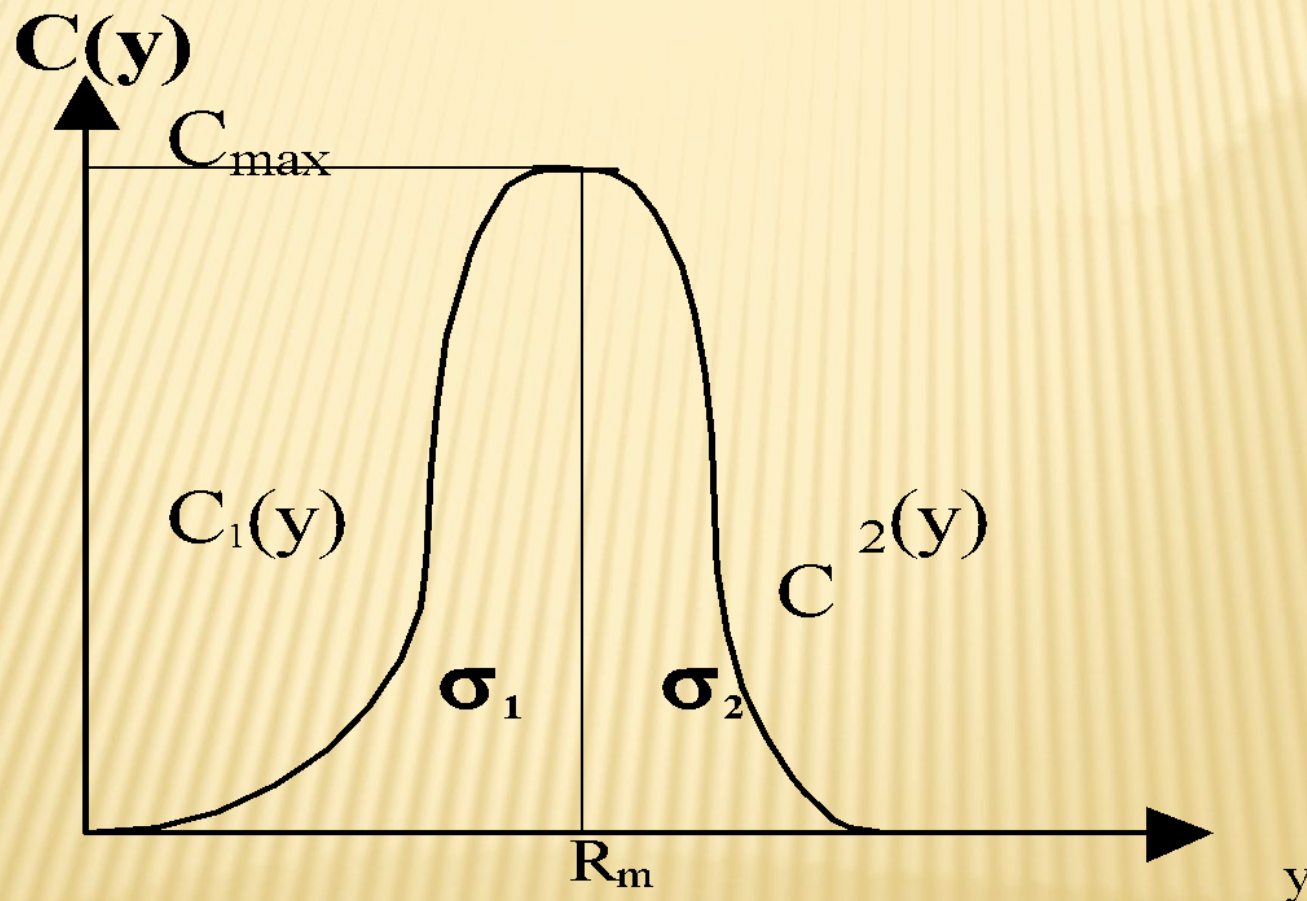


МОДЕЛЬ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

- Профиль распределения ионно-имплантированной примеси в Si или SiO₂ можно представить в виде **симметричной гауссианы** с двумя моментами: проективным пробегом, R_p , и стандартным отклонением, σ , вычисляемыми из теории Линдхарда-Шарфа-Шиотта (ЛШШ) [20]. Это простейший способ. Однако экспериментальные распределения многих ионов, таких, как В или As, являются асимметричными. Следовательно, необходимо использовать моменты более высоких порядков, чтобы построить реальные профили распределений имплантированных ионов. В работе [21] показано, что достаточно ввести третий центральный момент, чтобы обеспечить необходимую информацию для построения точных распределений, когда асимметрия несущественна (меньше, чем стандартное отклонение). В некоторых случаях распределение имплантированных ионов может быть представлено с помощью двух **полугауссиан**, каждая со своим значением стандартного отклонения, σ_1 и σ_2 , сшитыми в точке модального пробега R_m , как показано на рис.1.1. Такое приближение применяется в программе SUPREM II для определения профиля ионно-имплантированных примесей, за исключением бора, для которого используется распределение PEARSON IV.

РИС.1.1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВИДЕ ДВУХ ПОЛУГАУССИАН



ДЛЯ СШИВКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВИДЕ
ДВУХ ПОЛУГАУССИАН ОБЕ КРИВЫЕ
ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ВЫРАЖЕНИЯМИ:

- $C_1(y) = C_{\max} \exp [-(y-R_m)^2 / 2\sigma_1^2] \quad 0 \leq y \leq R_m;$
- $C_2(y) = C_{\max} \exp [-(y-R_m)^2 / 2\sigma_2^2] \quad R_m \leq y \leq \infty.$

-
- В программе SUPREM II значения R_m , σ_1 и σ_2 получаются из алгоритма, описанного в работе [22], в котором используются R_p , σ_p и третий момент, Sk (skewness – скошенность) – параметр, характеризующий асимметрию профиля. Эти три величины получаются путем интерполяции табличных параметров имплантации примесей в Si или SiO₂ [22].

МОДАЛЬНЫЙ R_M И ПРОЕКТИВНЫЙ R_P
ПРОБЕГИ, СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ S
И СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЙ ПРОБЕГ
(СТРАГГЛИНГ) СВЯЗАНЫ ПОСРЕДСТВОМ
СООТНОШЕНИЙ

$$\square R_m = R_p + 0.8(\Delta R_{p1} - \Delta R_{p2}); \Delta R_p = \sigma; \sigma^2 = \overline{(y - R_p)^2}$$

ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОЙ
ПРИМЕСИ, КРОМЕ ЭНЕРГИИ
ИМПЛАНТАЦИИ, СЛЕДУЕТ ЗАДАТЬ И
ДОЗУ. НОРМАЛИЗОВАННАЯ ДОЗА
ИМПЛАНТАЦИИ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ИЗ
ВЫРАЖЕНИЯ

$$Q(\sigma, R, a, b) = \int_a^b \exp\left[-(y - R)^2 / 2\sigma^2\right] dy$$

МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ
КОНЦЕНТРАЦИИ C_y И ДОЗА Q СВЯЗАНЫ
СООТНОШЕНИЕМ

$$P_y = Q / [Q(\sigma_1, R_m, 0, R_m) + Q(\sigma_2, R_m, R_m, \infty)]$$

При имплантации через SiO_2 следует использовать оба значения σ_1 и σ_2 и R_m для обеих (SiO_2 - Si) областей концентрационного профиля. Поскольку энергетические потери в SiO_2 ненамного отличаются от потерь в Si, модальный пробег в Si изменяется с целью учета этой разницы посредством аппроксимации:

$$R'_{MSI} = R_{MSI} + (1 - R_{PSI} / R_{POX}) Z_{OX}$$

где Z_{ox} - толщина SiO_2 ;

R'_{mSi} и R_{mSi} - исправленные и неисправленные значения модального пробега в Si;

R_{pSi} и R_{poX} - проективные пробеги в Si и SiO_2 соответственно.

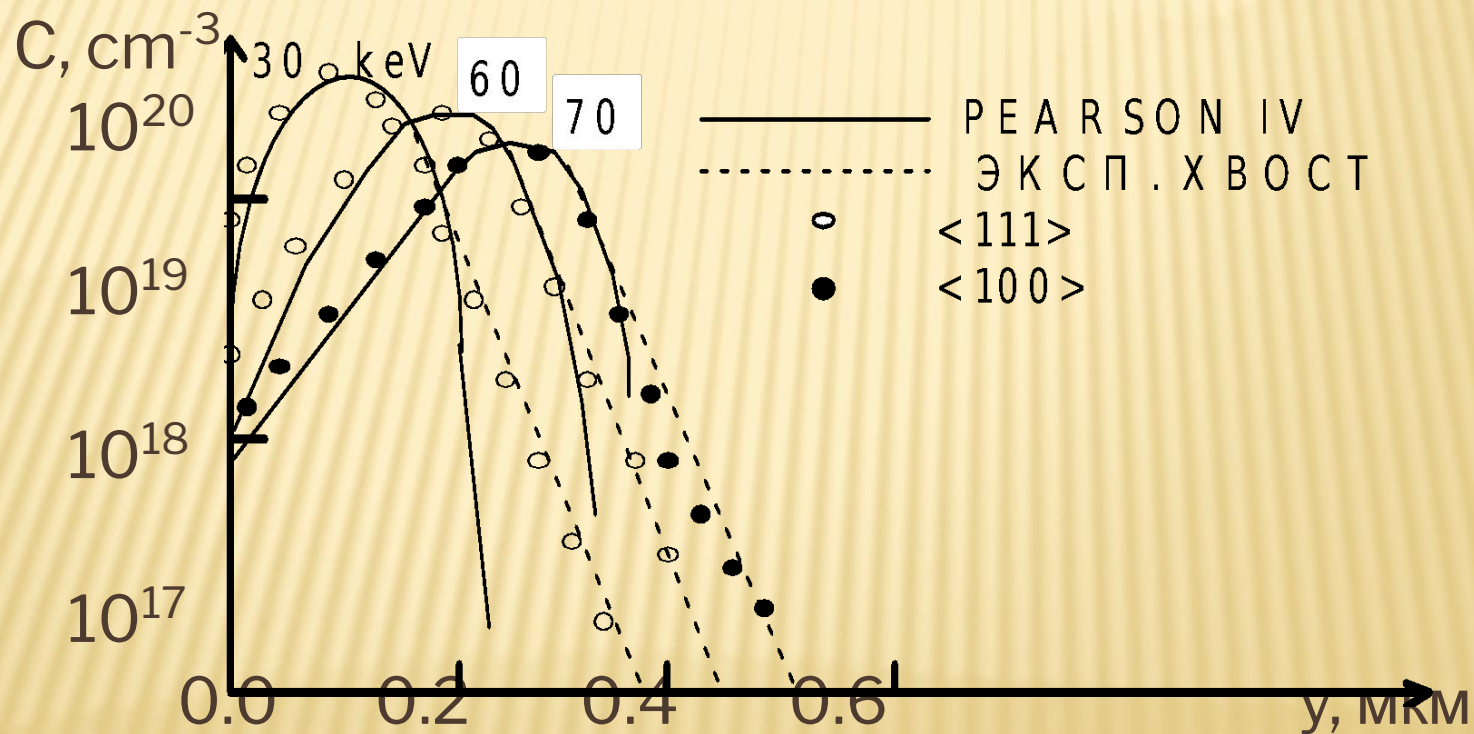
Небольшой разрыв в профиле на разделе SiO_2 / Si получается вследствие использования такого приближения.

ПРОФИЛЬ ИМПЛАНТИРОВАННОГО БОРА.

- В работе [23] показано, что профиль имплантированного бора может быть описан с помощью распределения PEARSON IV. В этой работе экспериментально определен и четвертый момент β_2 . Несмотря на то, что такое приближение хорошо описывает профиль распределения бора от поверхности до расстояния, немного ниже максимума концентрации, экспериментальный профиль отличается от модельного “хвостом”, обусловленным рассеянием ионов бора вдоль направления каналирования (рис.1.2).

-
- В программе SUPREM II распределение PEARSON IV для имплантационного профиля бора на основе экспериментальных данных [24-26] модифицировано посредством добавлением экспоненциального хвоста с фиксированной характеристической длиной (0.45 мкм), независимой от энергии, дозы и кристаллографической ориентации поверхности. Хвост сшивается со стандартным распределением PEARSON IV в том месте, где концентрация бора падает на 50% от ее значения в максимуме. Очевидно, после добавления хвоста следует произвести перенормировку распределения на дозу имплантируемых ионов. Типичные результирующие профили для такой модификации показаны на рис.1.2.

РИС.1.2. ПРОФИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БОРА, ИМПЛАНТИРОВАННОГО В КРЕМНИЕВУЮ ПОДЛОЖКУ С ОРИЕНТАЦИЯМИ $\langle 111 \rangle$ И $\langle 100 \rangle$ И С РАЗЛИЧНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ ИМПЛАНТАЦИИ. МОДЕЛИРУЕМЫЙ ПРОФИЛЬ ОПИСЫВАЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ PEARSON IV И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО “ХВОСТА”



СТАНДАРТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ PEARSON IV ВЫЧИСЛЯЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ

□ $C(y) = C_0 \exp^{F(y)}$

□ где

$$F(y) = \frac{1}{2b_2} \ln |b_0 + b_1 x_n + b_1 x_n^2| -$$
$$- \left(\left(\frac{b_1}{b_2} + 2a \right) / (4b_2 b_0 - b_1^2)^{\frac{1}{2}} \right) \tan^{-1} \left[(2b_2 x_n + b_1) / (4b_2 b_0 - b_1^2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$x_n = (y - R_p) / \sigma_p \quad a = -\gamma_1 (\beta_2 + 3) / A \quad b_0 = -(4\beta_2 - 3\gamma_1^2) / A$$

$$b_1 = a \quad b_2 = -(2\beta_2 - 3\gamma_1^2 - 6) / A \quad A = 10\beta_2 - 12\gamma_1^2 - 18$$

-
- Константа C_0 определяется из нормировки на дозу имплантации

$$A = Q / \int e^{F(y)} dy$$

КОНЕЦ