ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ФОСФОРА НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ МОНОКРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

Цель работы

Исследование структурных изменений в приповерхностных слоях монокристаллов Si после имплантации ионов фосфора.

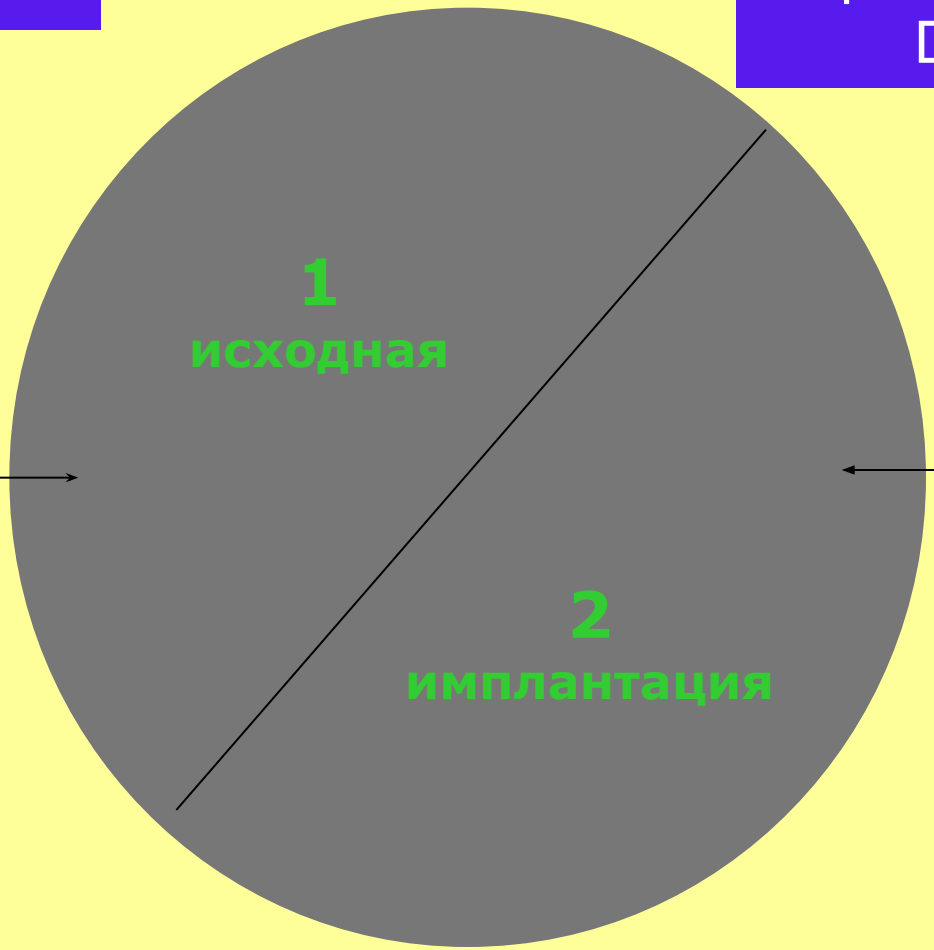
Энергия имплантованных ионов - *E*=180 кэВ, доза - *D*=8 · 1014 см-2

Для реализации цели:

- Использовано методы рентгеновской топографии и двухкристального спектрометра;
- Использовано численные методы решения системы дифференциальных уравнений, описывающие процессы рассеяния рентгеновских лучей в искаженных кристаллах

Исходная область

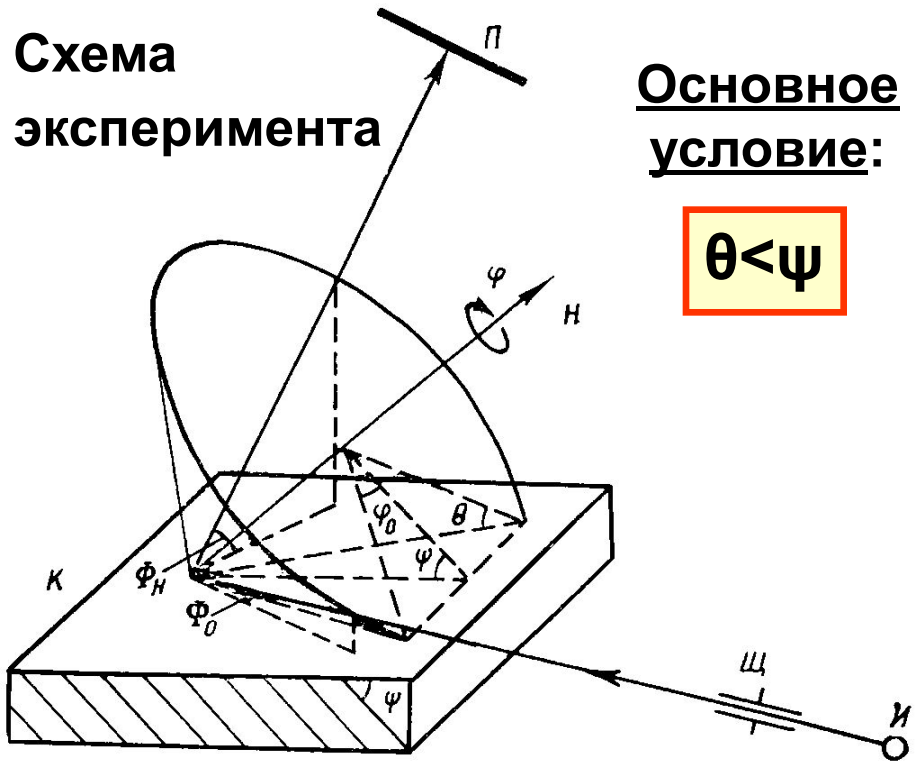
Ионная имплантация: фосфор (E=180кеВ, $D=8\cdot10^{14}$ см$^{-2}$)



Образец кремния схематично

КОСОНЕСИММЕТРИЧНАЯ ДИФРАКЦИИ В ГЕОМЕТРИИ НА ОТРАЖЕНИЕ

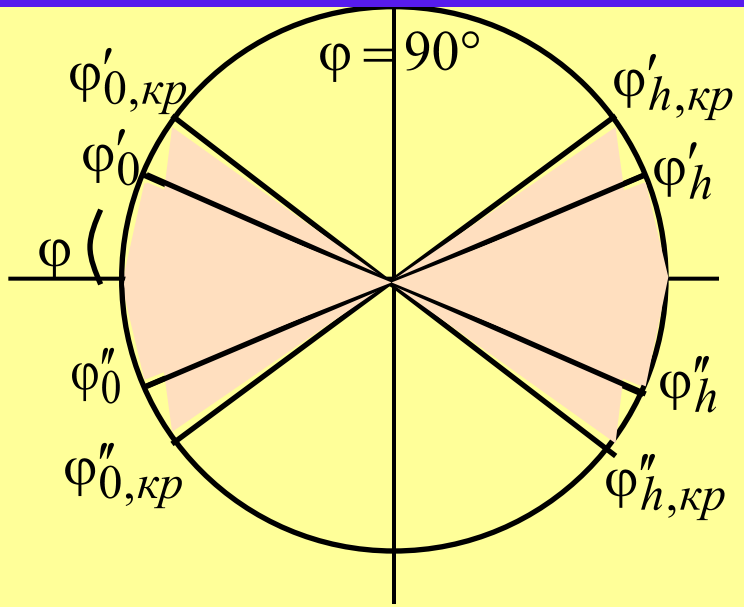
Схема эксперимента



Основное условие:

$$\theta < \psi$$

Схематическое представление особенный значений азимутального угла поворота ф при повороте кристалла вокруг вектора дифракции



И – источник рентг. излучения
Щ – щель
П – пленка
К – кристалл

$$\gamma_0 = \sin\Phi_0 = -\cos\theta\cos\varphi\sin\psi + \sin\theta\cos\psi$$

$$\gamma_h = \sin\Phi_H = -\cos\theta\cos\varphi\sin\psi - \sin\theta\cos\psi$$

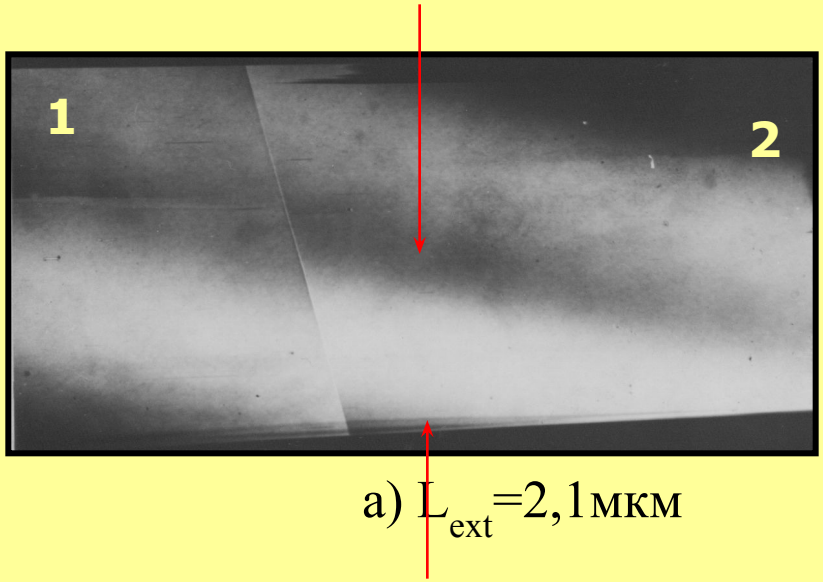
$\gamma_0 < 0 \rightarrow \cos\phi \geq tg\theta_B ctg\psi$ дифракция Лауэ;

$\gamma_0 \geq 0 \rightarrow \cos\phi < tg\theta_B ctg\psi$ дифракция Брэгга;

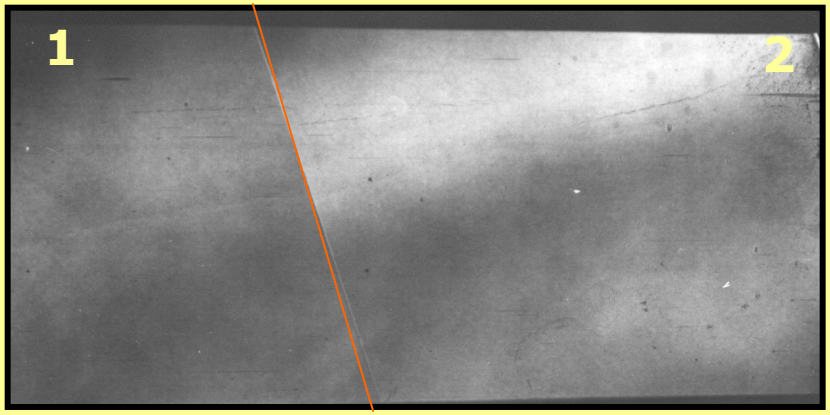
$0 \geq \gamma_0 \rightarrow 0 \rightarrow \cos\phi_{0,h} < \pm tg\theta_B ctg\psi$ эффект ПВО

$0 \leq \gamma_0 \leq \gamma_{кр}$ дифракція Брэгга и эффект ПВО

Топография монокристалов Si



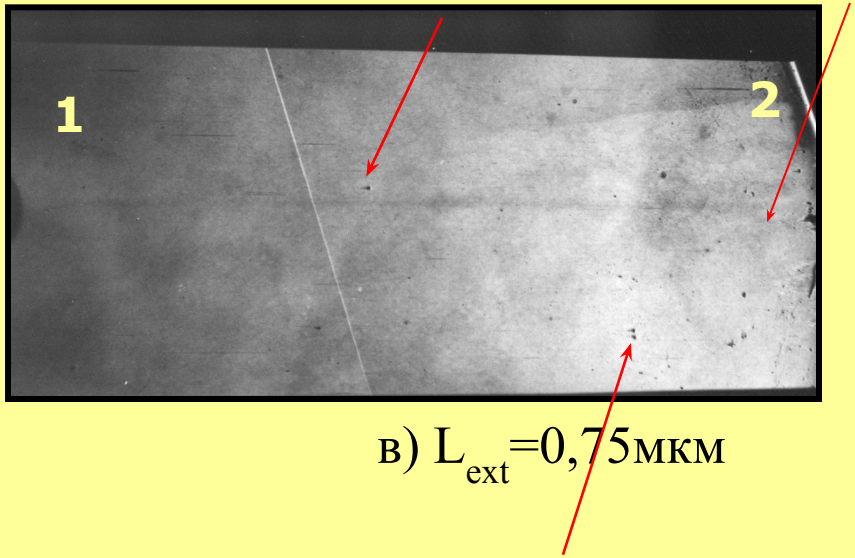
а) L_{ext}=2,1мкм



б) L_{ext}=1,05мкм

X-лучевые топограмы монокристала Si:

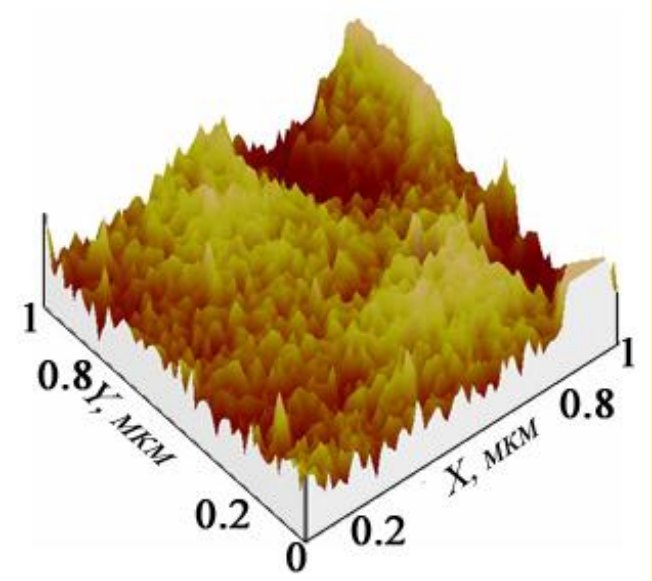
Cu*K*α-излучение, входящая плоскость (111)



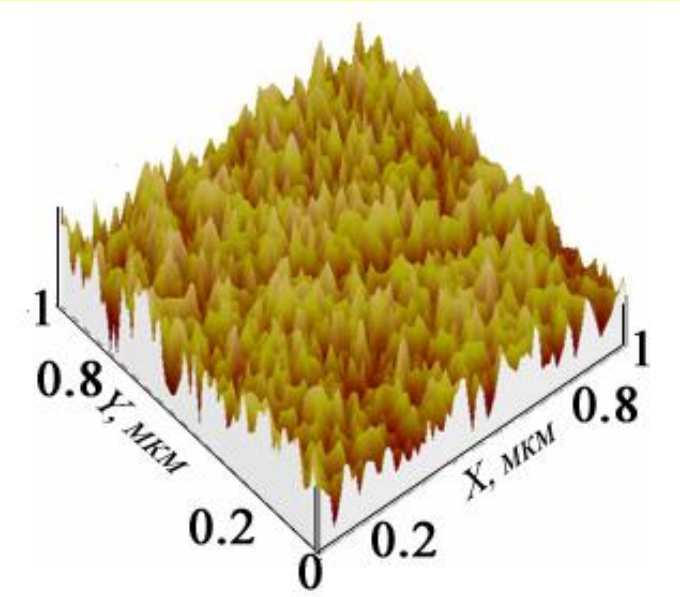
в) L_{ext}=0,75мкм

1-исходная область;
2-имплантированаяс

Атомно-силовая микроскопия образца Si



а)



б)

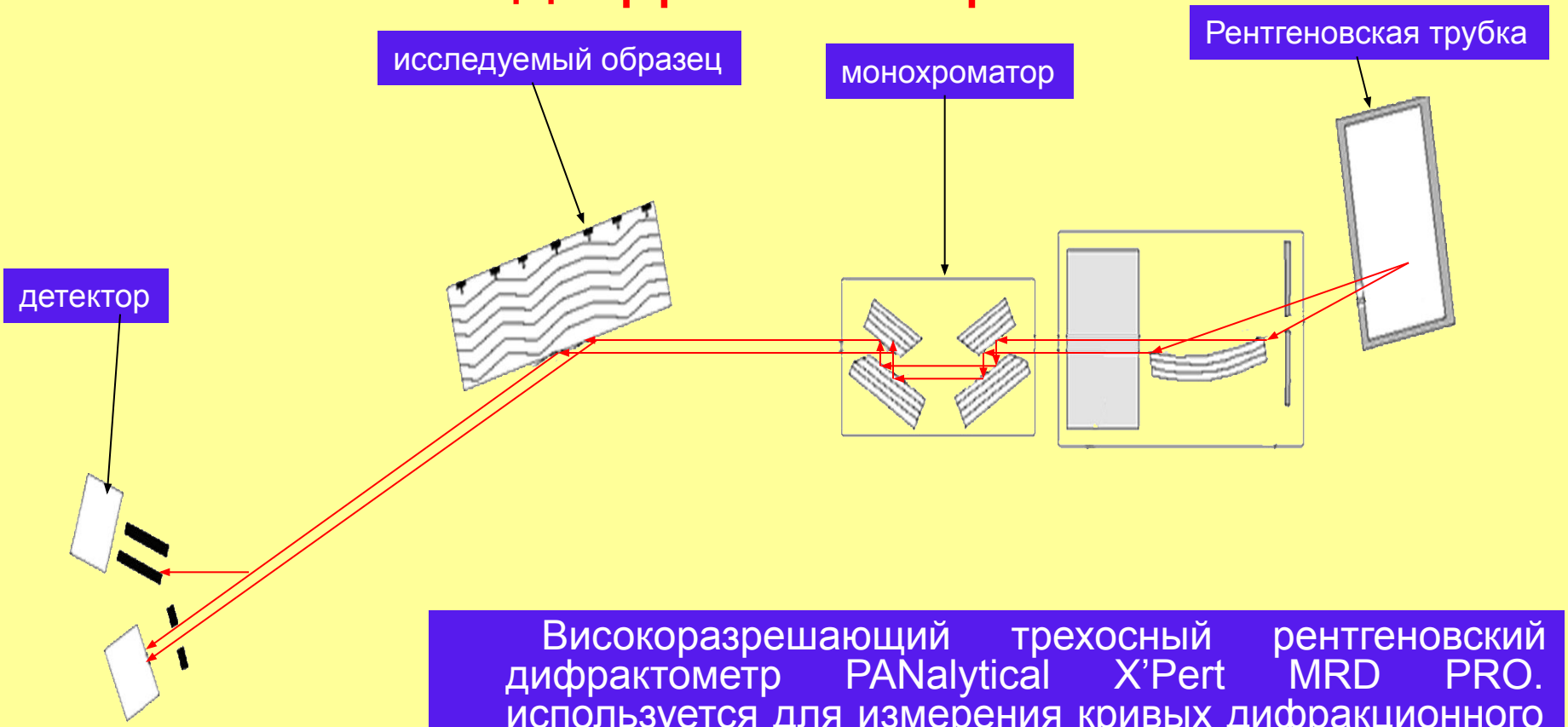
Объёмное изображение микрорельефа поверхности образца Si

а) исходная область

б) имплантированая область

№	Z, mkm	R_a, mkm	R_q, mkm
1 (исходная)	1,725	0,150	0,201
2 (имплонтированая)	4,756	0,273	0,373

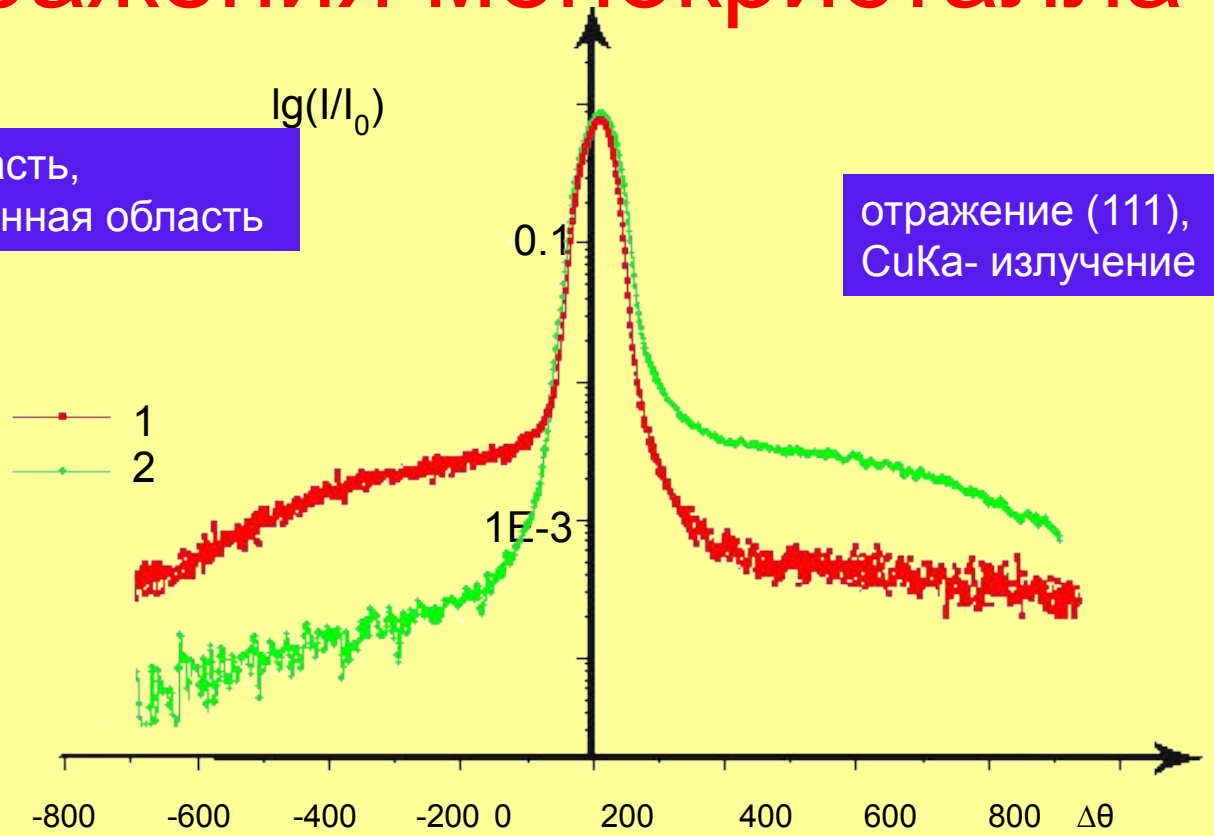
Схема трехосного рентгеновского дифрактометра



Високоразрешающий трехосный рентгеновский дифрактометр PANalytical X'Pert MRD PRO. используется для измерения кривых дифракционного отражения (КДО). На трехосном дифрактометре фирмы "Philips" находится: на первой оси- германиевый монохроматор из четырехкратным отражением, на второй – исследуемый образец, на третьей кристалл - анализатор .

Кривые дифракционного отражения монокристалла Si

1 – исходная область,
2 – имплантированная область



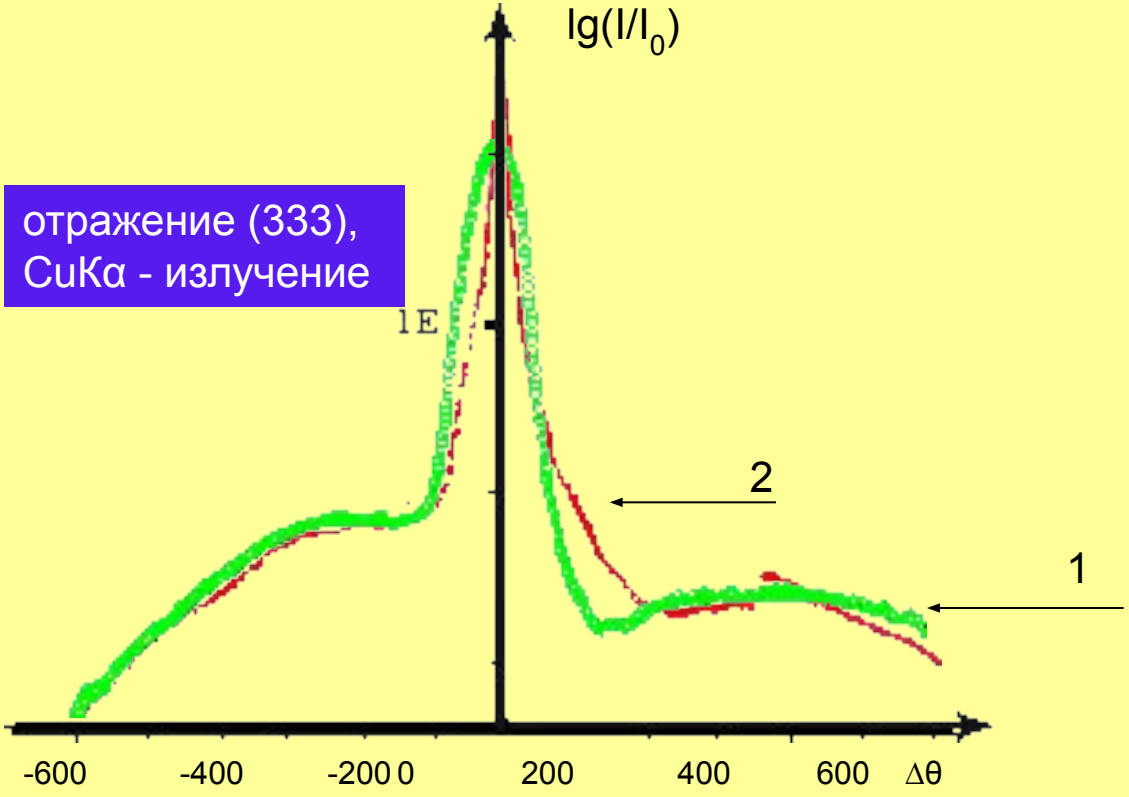
отражение (111),
CuKa- излучение

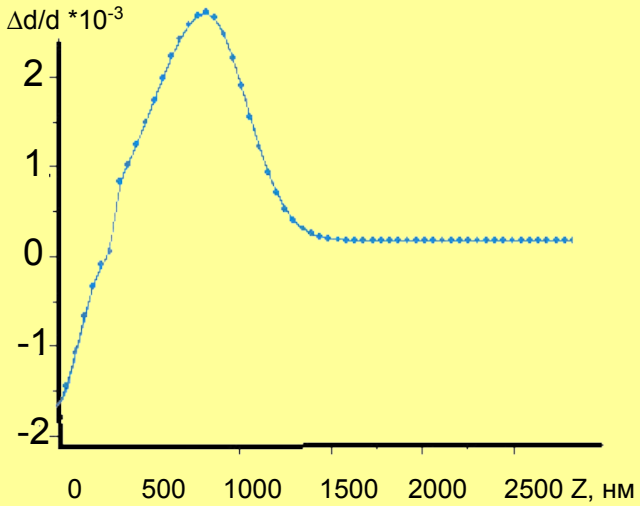
№ обл.	μ_d, см$^{-1}$	$L\cdot10^2$	$R_{д.к.}$,мкм	$n_{д.к.}$,см$^{-3}$	$R_{с.к.}$,мкм	$n_{с.к.}$,см$^{-3}$	$R_{п.}$,мкм	$n_{п.}$,см$^{-3}$
1	1,05	0,6	0,45	$7\cdot10^6$	0,009	$7\cdot10^{11}$	0,5	$8\cdot10^7$
2	0,21	0,18	0,4	$2\cdot10^8$	0,009	$8\cdot10^{12}$	0,9	$2\cdot10^9$

Кривые дифракционного отражения монокристалла Si: сопоставление теоретической и экспериментальных кривых

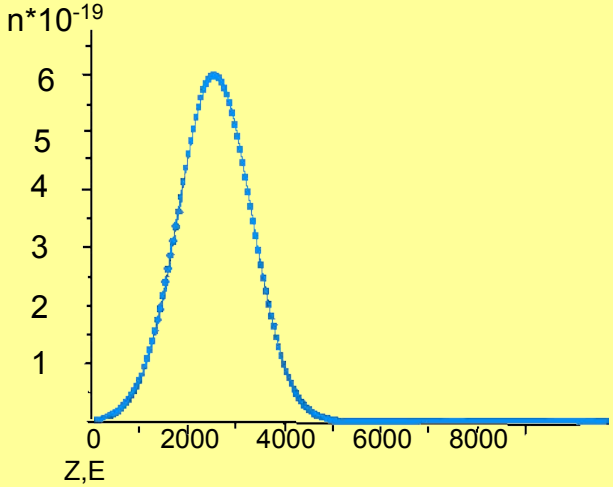
1 – экспериментальная кривая,
2 – теоретически рассчитанная кривая.

отражение (333),
CuKα - излучение





Профиль деформации в приповерхностных слоях кристалла, имплантированного ионами фосфора



Распределение имплантированных ионов фосфора
в кристалле кремния, полученное с помощью
программного пакета SRIM-2003

Выводы:

- .Воздействие ионной имплантации на поверхность образца приводят к изменению характеристик и формы кривых качания, особенно их “хвостов”, относительно исходной части образца. Наблюдается также незначительное увеличение полуширины кривых качания и отношения интегральной интенсивности к высоте максимума кривой.
- Из полученного распределения имплантированных ионов следует, что максимальное значение концентрации имплантанта n=5.75·1019 см-3 наблюдается на глубине порядка ~2500Å.
- Исходя из численных решений уравнений Такаги – Топена, а также из расчетов на основании обобщенной динамической теории дифракции рентгеновских лучей построен профили деформации в поверхностных слоях кремния
- Оценены средний радиус и концентрация микродефектов: дискообразные кластеры – размер ~0,5 мкм, концентрация ~ $10^7 \div 10^8$ см$^{-3}$; сферические кластеры – размер ~0,011 мкм, концентрация ~$10^{12} \div 10^{13}$ см$^{-3}$; дислокационные петли – размер ~0,7 мкм, концентрация ~$10^8 \div 10^9$ см$^{-3}$
- Определенная с помощью атомно-силовой микроскопии высота *Ra* характерного рельефа неровностей на имплантированной ионами поверхности, равна ~0,273 нм