

# ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БЕЗДИСЛОКАЦИОННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКЕ ПЛАСТИН

Меженный М.В.<sup>1)</sup>, Простомолотов А.И.<sup>2)</sup>, Резник В.Я.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>ОАО «Гиредмет», Москва

<sup>2)</sup>Институт проблем механики им.А.Ю.Ишлинского РАН, Москва

<sup>3)</sup>Институт химических проблем микроэлектроники, Москва

Кремний-2010

Нижегород, 6-9 июля, 2010

VII Международная конференция и VI Школа молодых ученых



- Управление процессами преципитации кислорода в пластинах CZ-кремния, при создании геттерирующих сред, является одной из наиболее сложных задач полупроводникового материаловедения последних десятилетий.
- С тех пор как было установлено [T.Y. Tan et al - 1977], что кислородсодержащие преципитаты могут представлять собой эффективную геттерирующую среду для быстродиффундирующих примесей и загрязняющих атомов переходных металлов, создание эффективной геттерирующей среды на основе оксидных частиц и сопутствующих им вторичных дефектов, является основной целью при разработке температурно-временных режимов геттерирования.
- Основные теоретические проблемы, связанные с осуществлением процессов внутреннего геттерирования, решаются достаточно просто, однако на пути их практической реализации встречаются значительные сложности.
- Надёжный и эффективный внутренний геттер предполагает формирование устойчивой приповерхностной бездефектной зоны (свободной от оксидных преципитатов) и наличие достаточно высокой плотности оксидных частиц (объёмная плотность геттерирующих центров должна быть не ниже  $10^8$ - $10^9$  см<sup>-3</sup>). Наибольшей эффективностью геттерирования быстродиффундирующих металлических примесей обладает дефектная среда, в которой преобладают преципитатно-дислокационные скопления и дефекты упаковки. [Milvidsky M.G. et al - 1989, 1997]

## Мотивация

- Основные нерешённые проблемы создания эффективного внутреннего геттера связаны с прецизионным управлением количеством преципитировавшего кислорода в CZ-пластинах. Для создания эффективной геттерирующей среды в таком материале с характерным для него широким диапазоном содержания кислорода, всякий раз требуется корректировать режимы формирования геттера. Эти проблемы делают актуальным создание математических моделей и проведение на их основе расчетов, описывающих диффузионно-рекомбинационные процессы взаимодействия вакансий и межузельных атомов кремния и пространственное распределение центров зарождения будущих кислородных преципитатов по глубине пластины.
- При таком подходе возможность создания эффективной геттерирующей дефектной среды в объёме пластины в значительной степени зависит от тепловой предыстории исходного кристалла и содержания и характера распределения в нём кислорода, что существенно влияет на воспроизводимость получаемых результатов.
- Традиционная схема формирования внутреннего геттера основана на создании в приповерхностной области пластины слоя, обеднённого кислородом до такой степени, что соответствующий твёрдый раствор перестаёт быть пересыщенным. Типичная температурно-временная схема такой термообработки в случае четырёхступенчатого процесса выглядит следующим образом:  
**1000°C/15 мин.+650°C/16 час+800°C/4 час+1000°C/4 час.**

## Мотивация

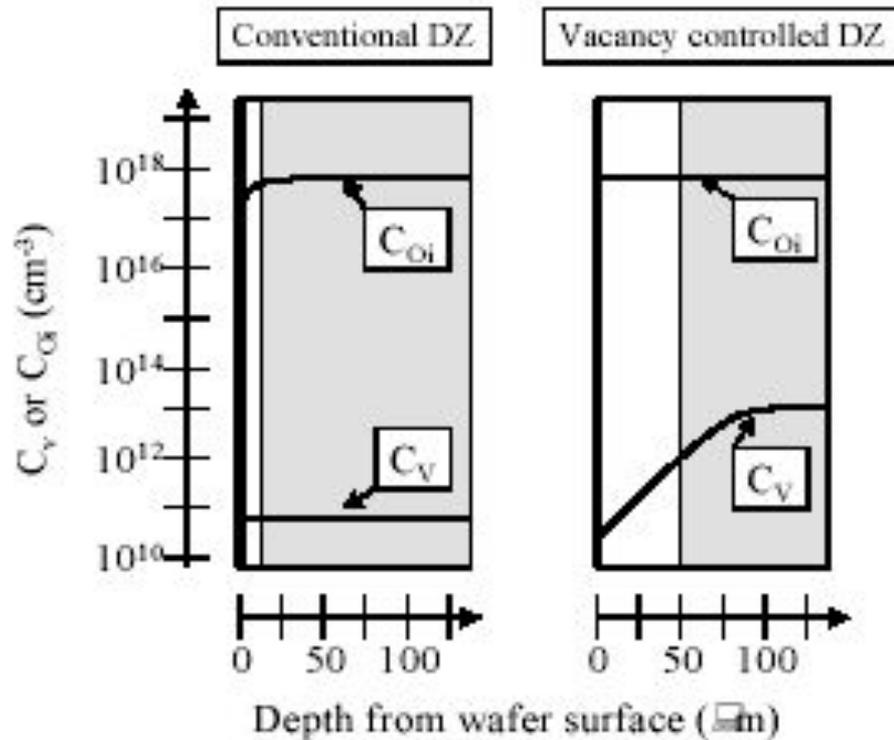
- Однако существует **другой способ** формирования геттерирующей среды, основанный на сильной зависимости процесса преципитации кислорода от концентрации вакансий. Создание требуемого профиля концентрации вакансий позволяет управлять распределением кислородных преципитатов по глубине пластины. Такой приём геттерирования получил название MDZ-отжиг (Magic Denuded Zone Annealing) и представляет собой быстрый термический отжиг (БТО), осуществляемый с помощью мощных импульсных ламп [Falster R. et al - 1998]. Использование метода математического моделирования направлено для оптимизацию температурно-временных режимов отжига и охлаждения пластин.
- **Цель работы** - выявление общих закономерностей и особенностей процессов дефектообразования в бездислокационных монокристаллах кремния большого диаметра, выращенных методом Чохральского после формирования в них эффективной геттерирующей среды.

## Цель работы

- В качестве образцов использовали пластины кремния ориентации {100}, вырезанные из бездислокационного монокристалла CZ-кремния диаметром 150 мм, выращенного в направлении <100> р-типа проводимости (5-10 Ом·см) с содержанием кислорода в диапазоне  $(5-8) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (калибровочный коэффициент  $3,14 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ).
- Комплексные исследования дефектной структуры в пластинах кремния, подвергнутых различным типам нуклеационного отжига (БТО и традиционного низкотемпературного отжига) с последующей геттерирующей термообработкой в диапазоне температур 950-1000°С, были выполнены с использованием методов ОМ, ПЭМ и Фурье ИК-спектроскопии.

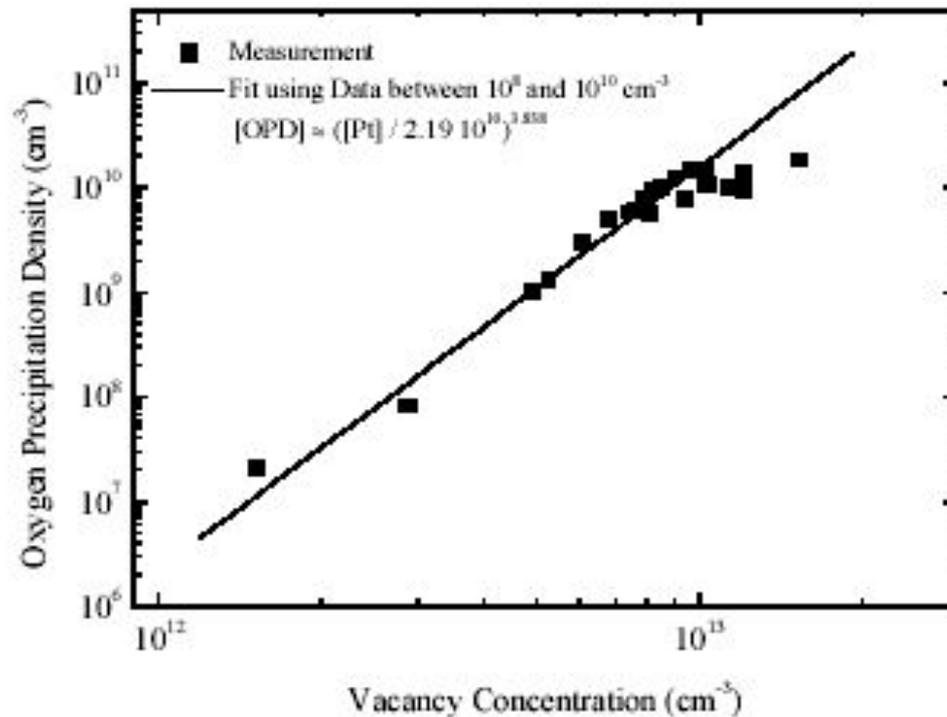
## Образцы и методы исследования

R. Falster et al - 1998



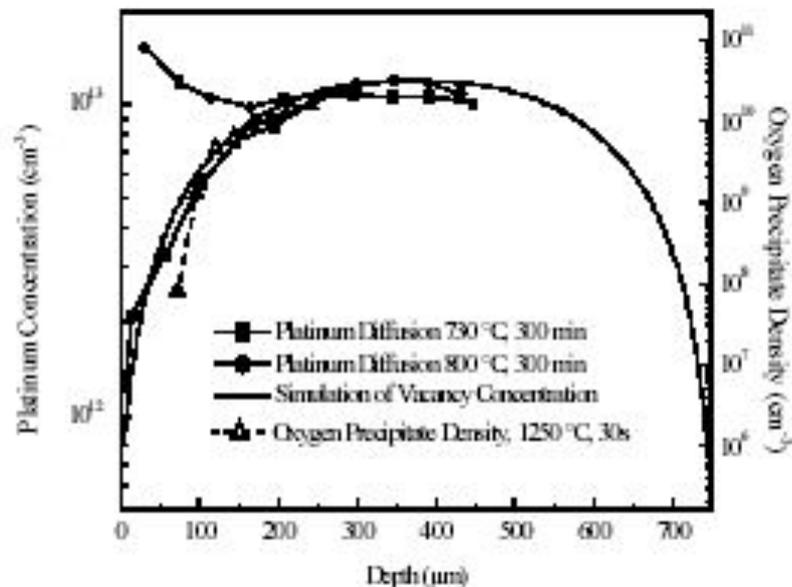
$C_{O_i}$  – концентрация межзельного кислорода  
 $C_v$  – концентрация вакансий

**Различие между традиционным методом и метода MDZ (Vacancy controlled DZ) создания бездефектной зоны**

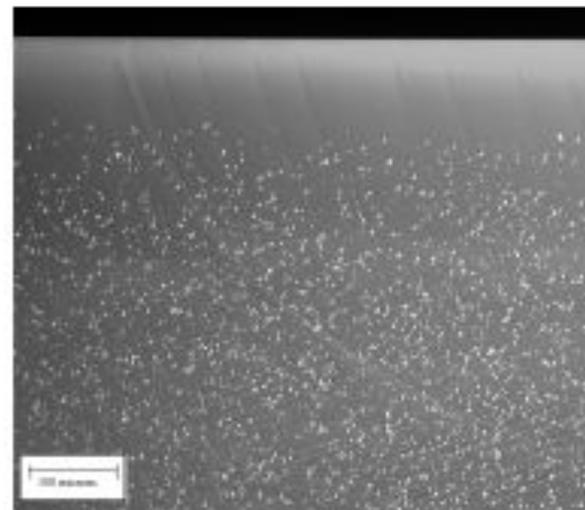


H. Zimmermann et al 1991

**Зависимость объёмной плотности оксидных преципитатов, возникающих при проведении высокотемпературного теста, от концентрации вакансий**



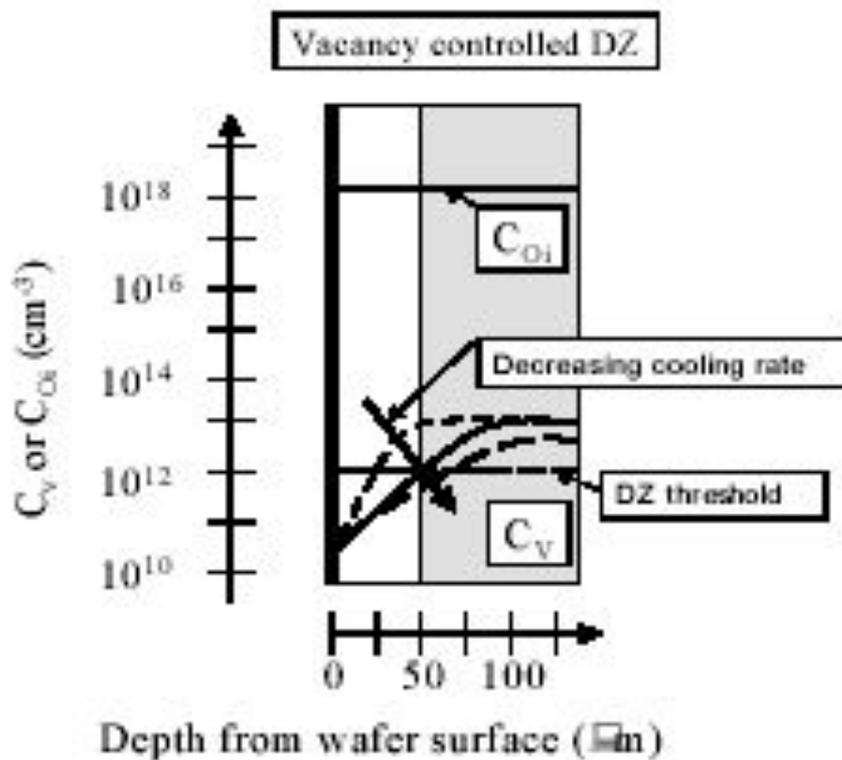
(a)



(b)

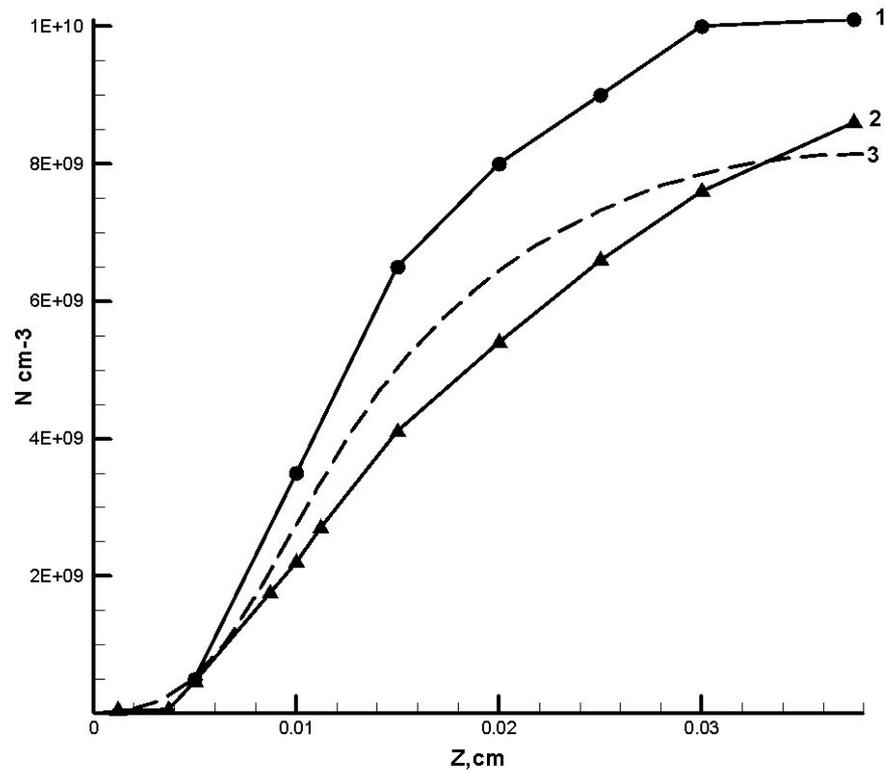
Профили распределения по глубине диффузии платины, соответствующие концентрации вакансий.

Распределение фигур травления соответствующие концентрационному профилю вакансий, сформированному при БТО (1250 °C).

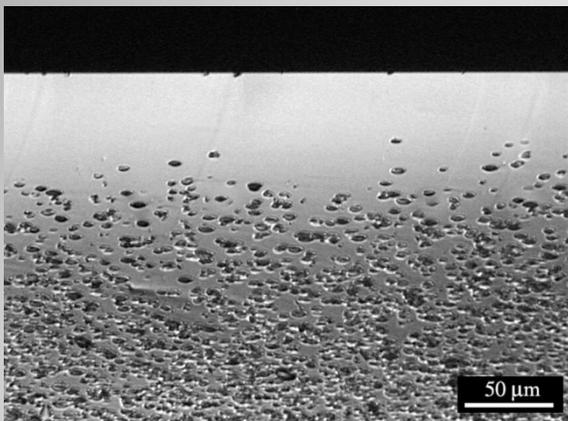


**Влияние скорости охлаждения на формирование профиля распределения вакансий**

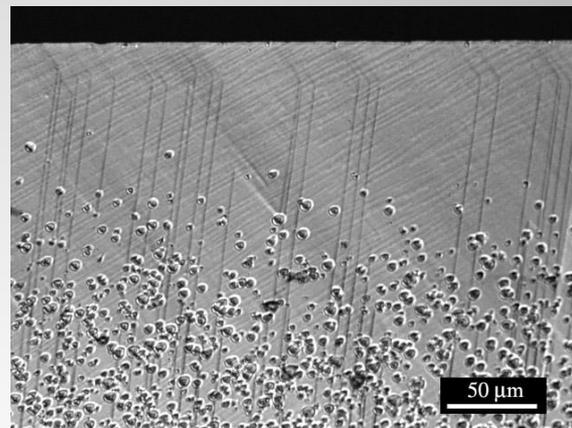
OM – 1  
TEM – 2  
расчет – 3



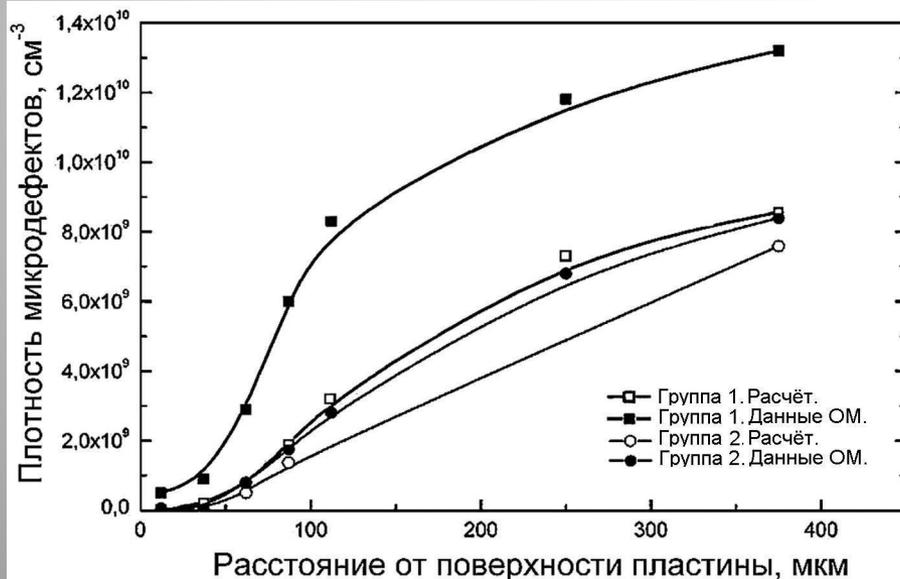
**Распределения по толщине пластины  
суммарной плотности дефектов**



традиционная т/о



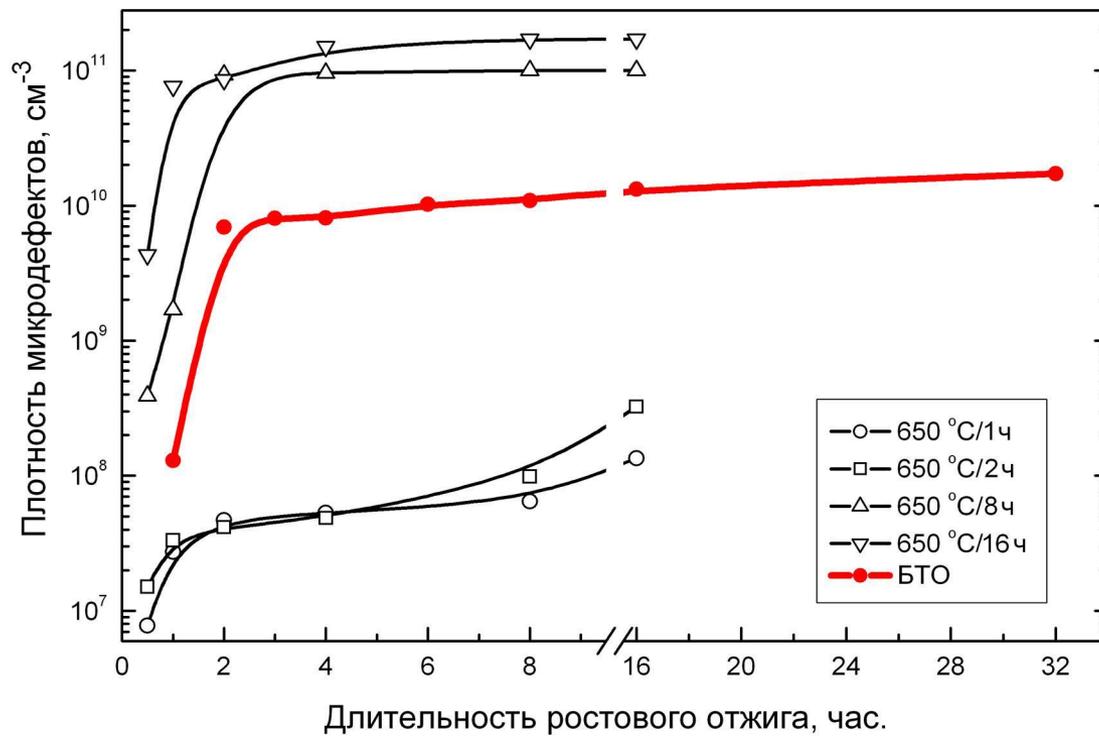
БТО



Группа 1 –  $[O_i] = 8 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$

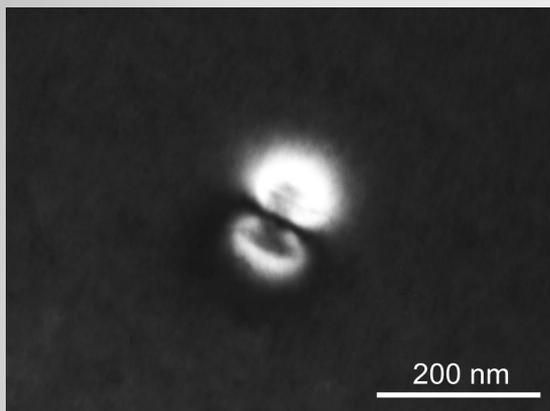
Группа 2 –  $[O_i] = 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$

**Зависимость объёмной плотности микродефектов от расстояния от поверхности пластины для образцов групп 1 и 2 после БТО**

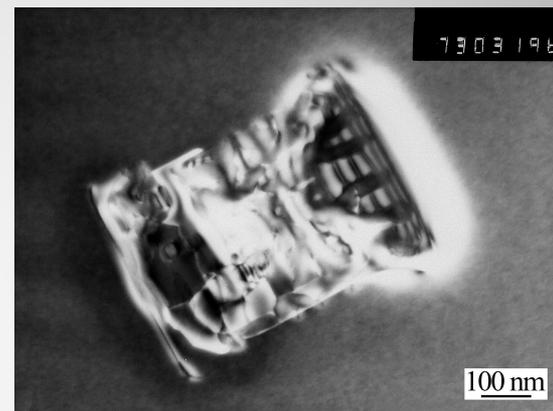


$$[O_i] = 8 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$$

**Зависимость объёмной плотности микродефектов в пластинах на глубине 350 мкм от длительности ростового отжига при 1000 °C (для традиционной и БТО обработок)**

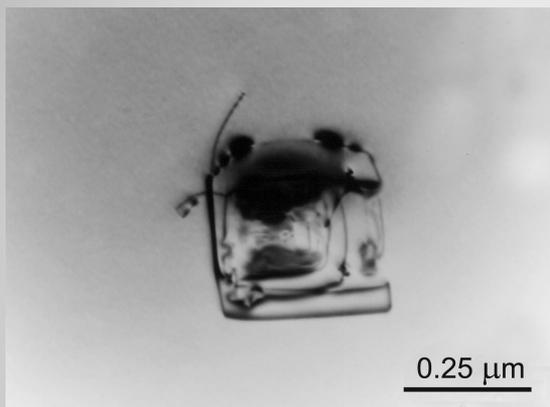


мелкий пластинчатый  
преципитат (~50 нм)

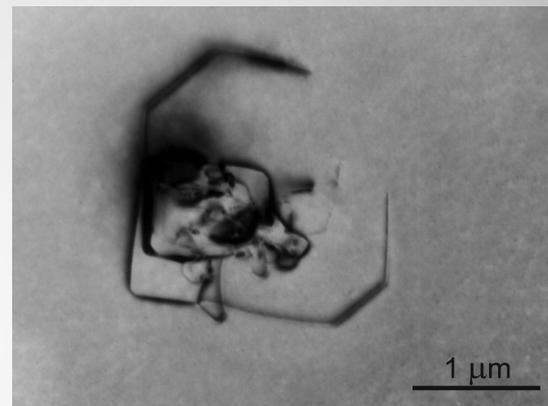


крупный пластинчатый  
преципитат ( $\geq 300$  нм)

**Сравнение основных типов микродефектов  
наблюдаемых в образцах серии БТО на  
различной глубине**

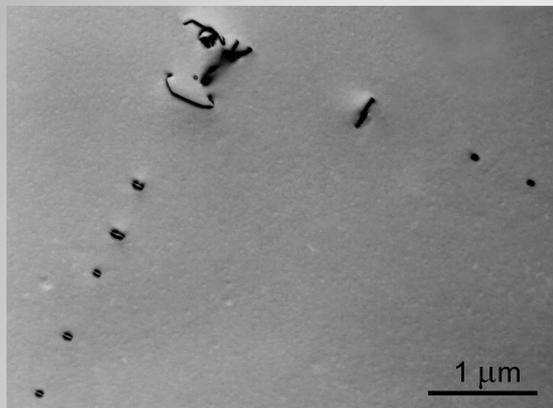


глобулярное ПДС  
(~50 мкм)

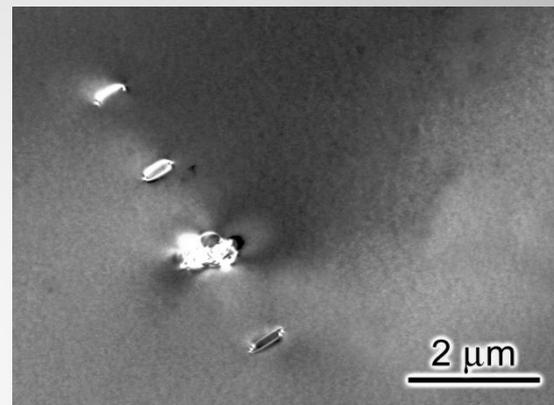


глобулярное ПДС  
(~300 мкм)

**Сравнение основных типов микродефектов  
наблюдаемых в образцах серии БТО на  
различной глубине**

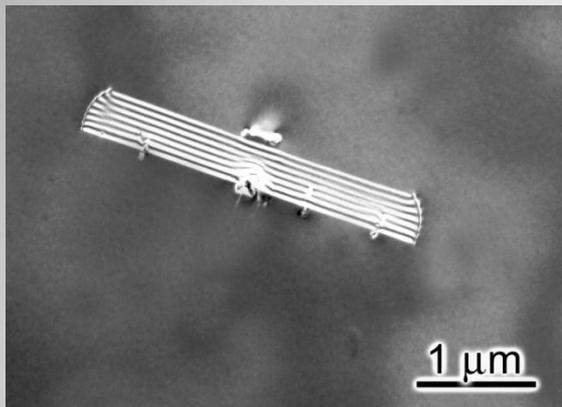


линейное ПДС (~50 мкм);

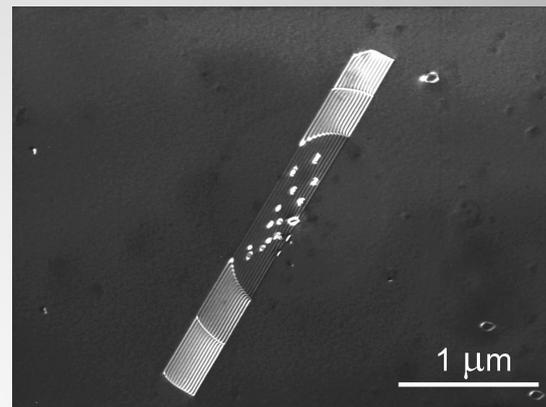


линейное ПДС (~300 мкм);

**Сравнение основных типов микродефектов  
наблюдаемых в образцах серии БТО на  
различной глубине**

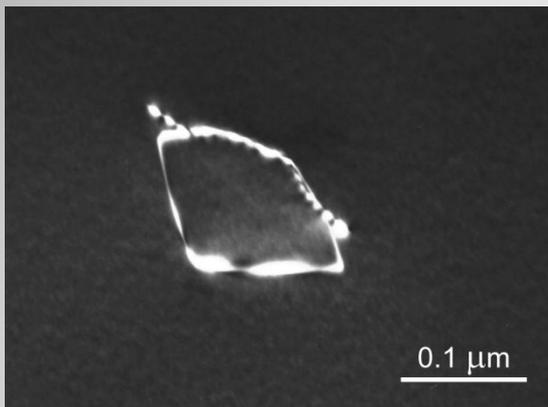


дефект упаковки внедрённого  
типа (~50 мкм)

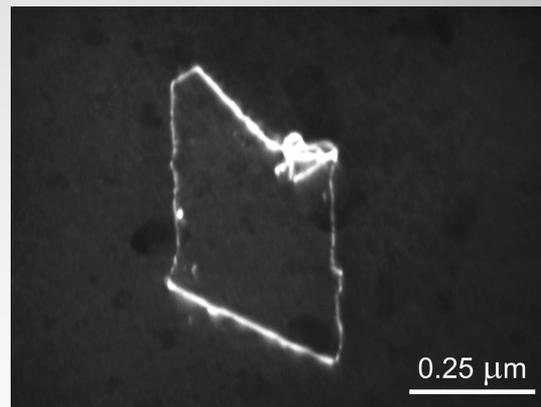


дефект упаковки внедрённого  
типа (~300 мкм)

**Сравнение основных типов микродефектов  
наблюдаемых в образцах серии БТО на  
различной глубине**



полная дислокационная  
петля (~50 мкм);



полная дислокационная  
петля (~300 мкм);

**Сравнение основных типов микродефектов  
наблюдаемых в образцах серии БТО на  
различной глубине**

1. Проведены сравнительные исследования процессов формирования внутреннего геттера, обеспечивающих получение пластин с приповерхностным слоем свободным от кислородных преципитатов (MDZ). Формирование геттерирующих центров осуществлялось с использованием традиционного многоступенчатого режима отжига и БТО. В последнем случае образование MDZ происходило за счёт создания контролируемого профиля распределения вакансий по толщине термообрабатываемой пластины.
2. Создана математическая модель и проведены расчёты оптимизирующие режимы БТО, обеспечивающего формирование контролируемого профиля распределения вакансий по толщине термообрабатываемой пластины.
3. Необходимый профиль распределения вакансий был реализован в процессе БТО при температурах  $\sim 1175$  °С. При последующей двухступенчатой термообработке в объёме пластины образовывалось большое количество кислородсодержащих преципитатов, в то время как приповерхностная область пластины толщиной  $\sim 50$  мкм оставалась практически бездефектной.
4. Сравнение кривых распределения плотности выявляемых микродефектов для образцов с традиционным отжигом и БТО показывает, что в образцах с MDZ общий характер изменения плотности генерируемых дефектов при увеличении длительности ростового отжига аналогичен традиционным образцам. Однако, использование БТО обеспечивает создание внутреннего геттера с MDZ глубиной  $\sim 50$  мкм с гораздо меньшими временными и энергетическими затратами.

## Заключение