

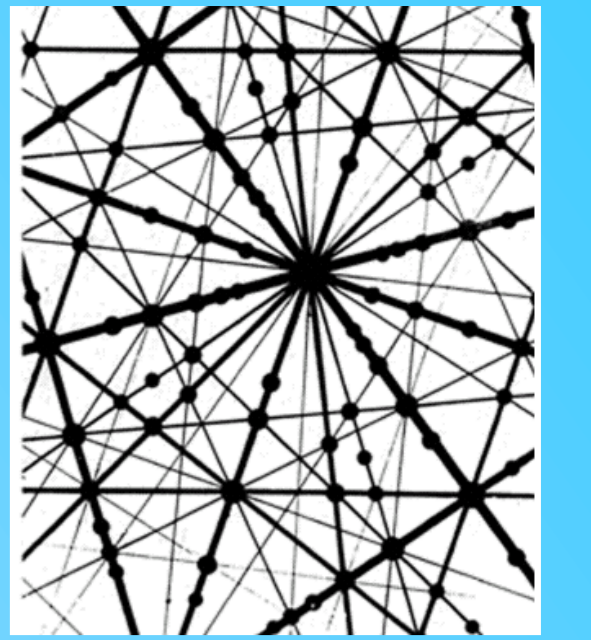


# СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА NiCoFeCrMn, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ ГЕЛИЯ И КРИПТОНА

В.В. Углов<sup>1,\*</sup>, К. Дзин<sup>2</sup>, С.В. Злоцкий<sup>1</sup>, И.В. Сафронов<sup>1</sup>,  
Н.А. Степанюк<sup>1</sup>, Д.В. Есипенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Пекинский технологический институт, Пекин, Китай



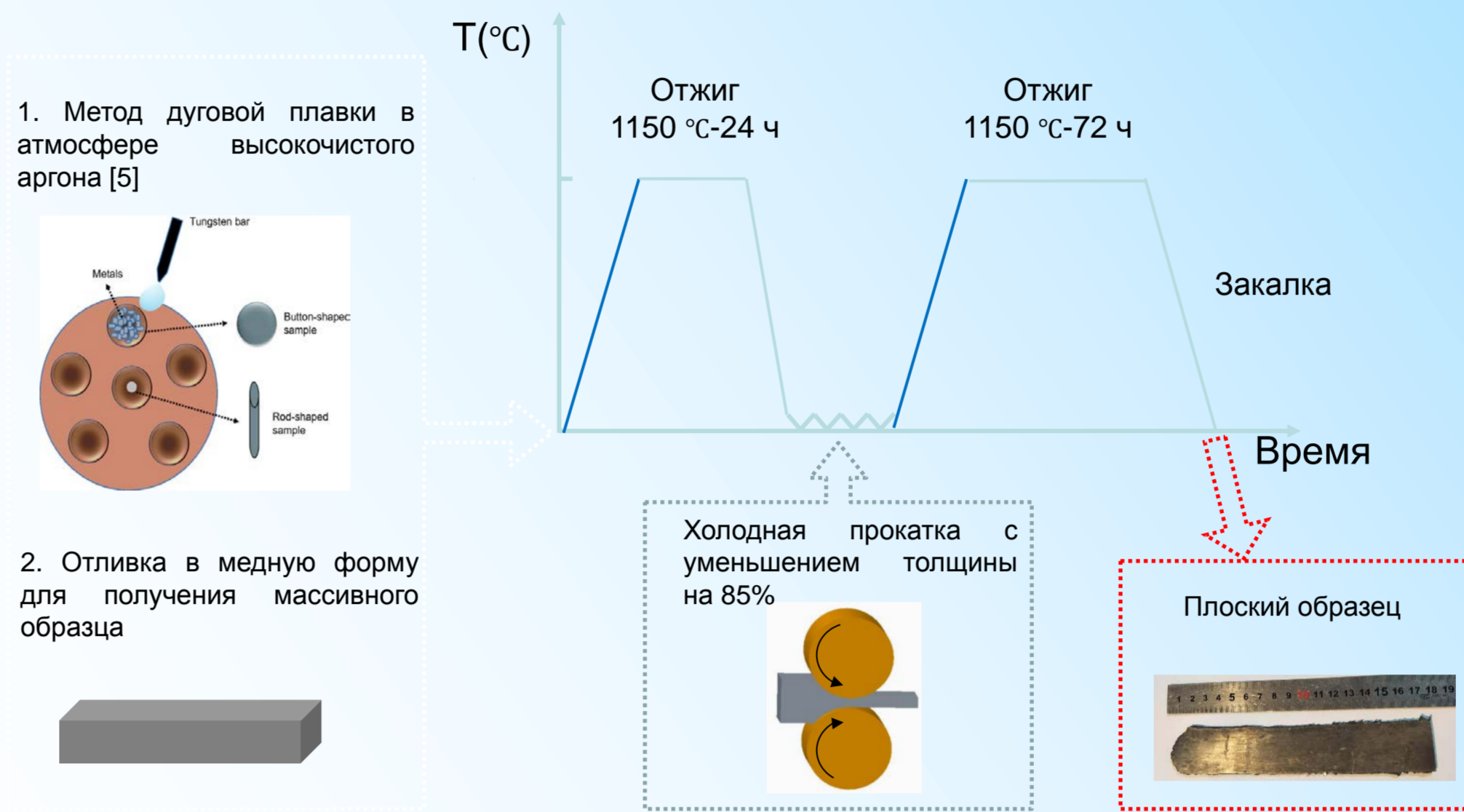
50-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами Москва, МГУ им М.В. Ломоносова, 25-27 мая 2021

## Введение

В последние годы интенсивно исследуется новый класс металлических материалов – высокоэнтропийные сплавы (ВЭСы), которые обладают рядом уникальных свойств и могут быть использованы в различных областях техники [1-2]. В частности, считается, что ВЭСы являются перспективными радиационно-стойкими материалами для ядерных реакторов нового поколения и будущих термоядерных реакторов [3-4]. Многокомпонентность (обычно не менее пяти элементов) и высокое содержание каждого компонента (более 5 ат.%) в этих сплавах приводят к высокой энтропии смешения, благодаря чему в ряде материалов формируются однофазные твердые растворы, которые имеют простую ОЦК- или ГЦК-решетку.

Данная работа посвящена исследованию микроструктуры и фазового состава высокоэнтропийного сплава NiCoFeCrMn, облученного низкоэнергетическими ионами гелия и высокоэнергетическими ионами криптона.

## Приготовление образцов

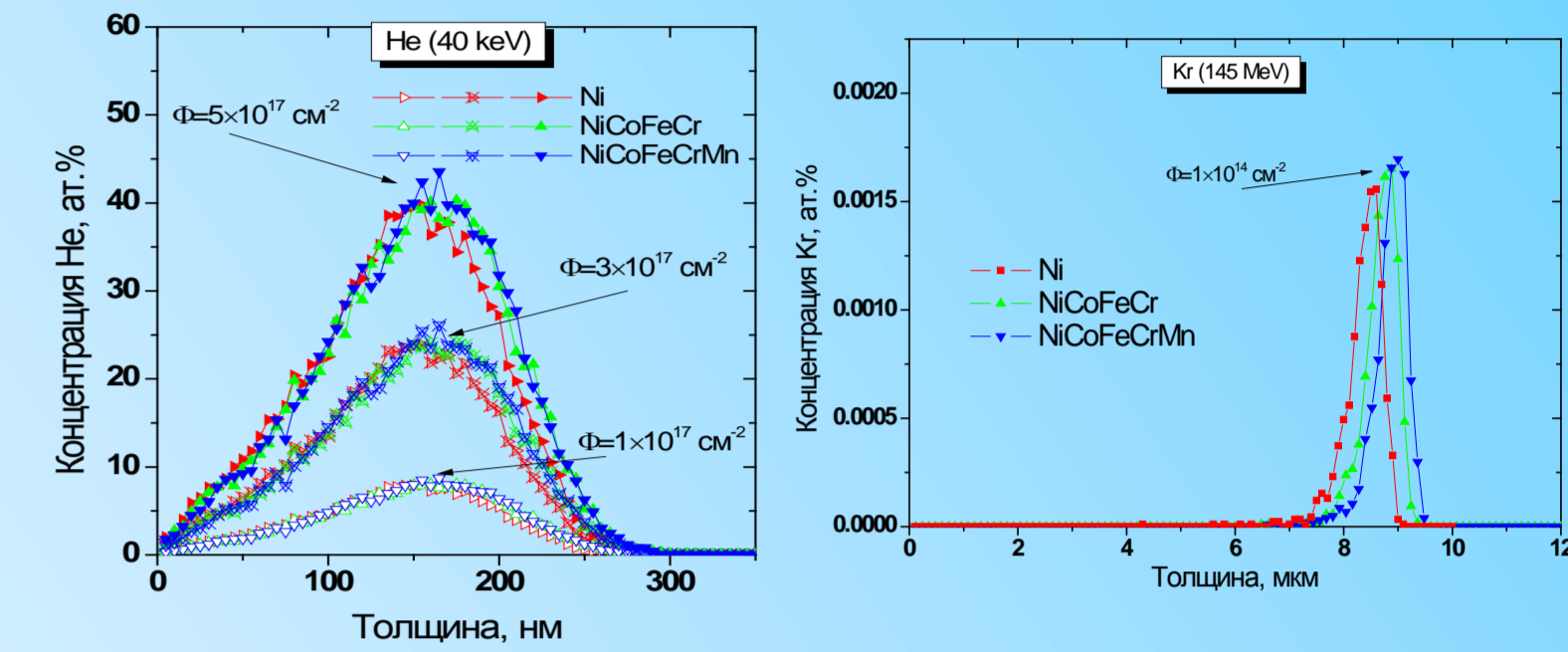


## Облучение

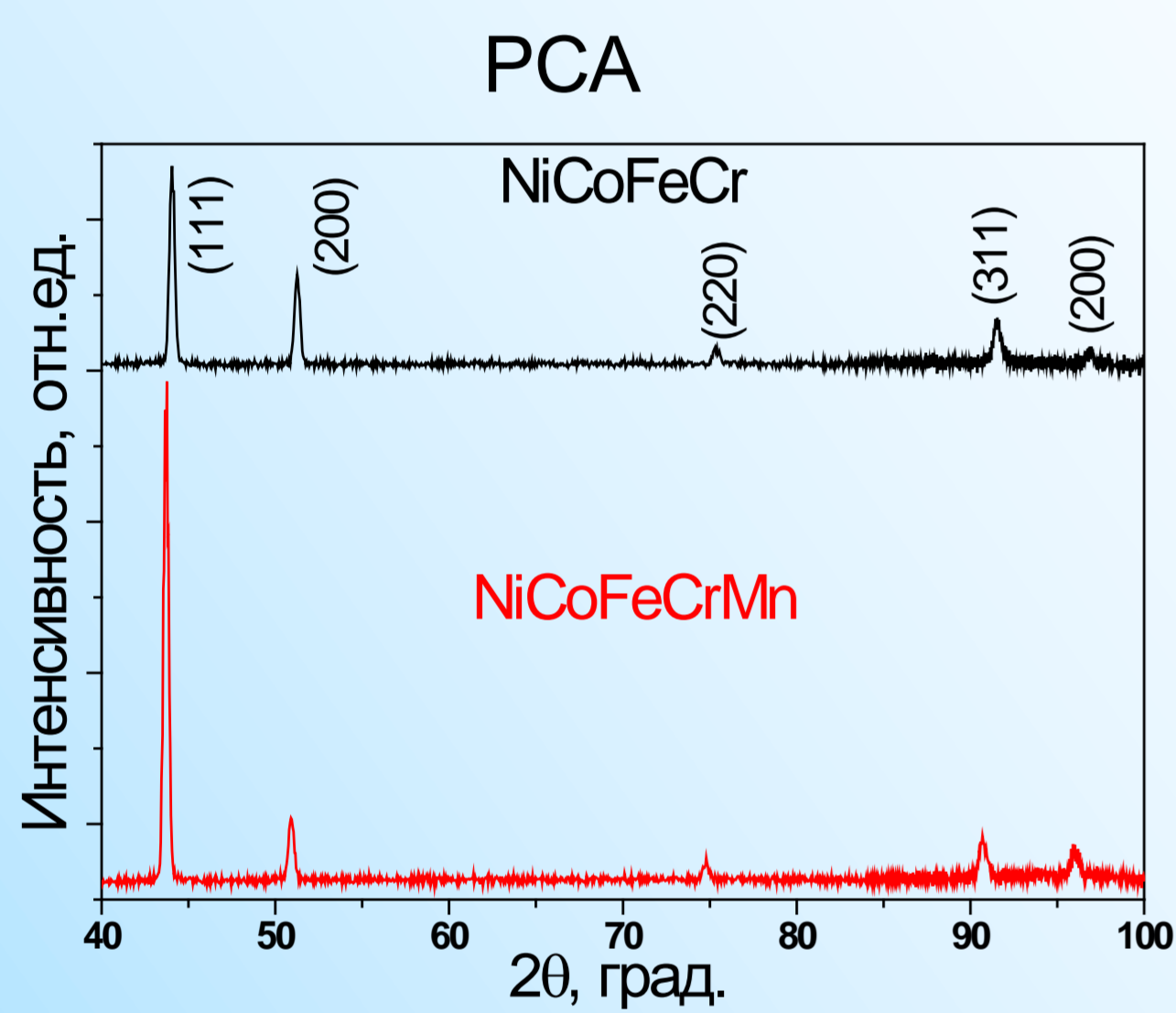
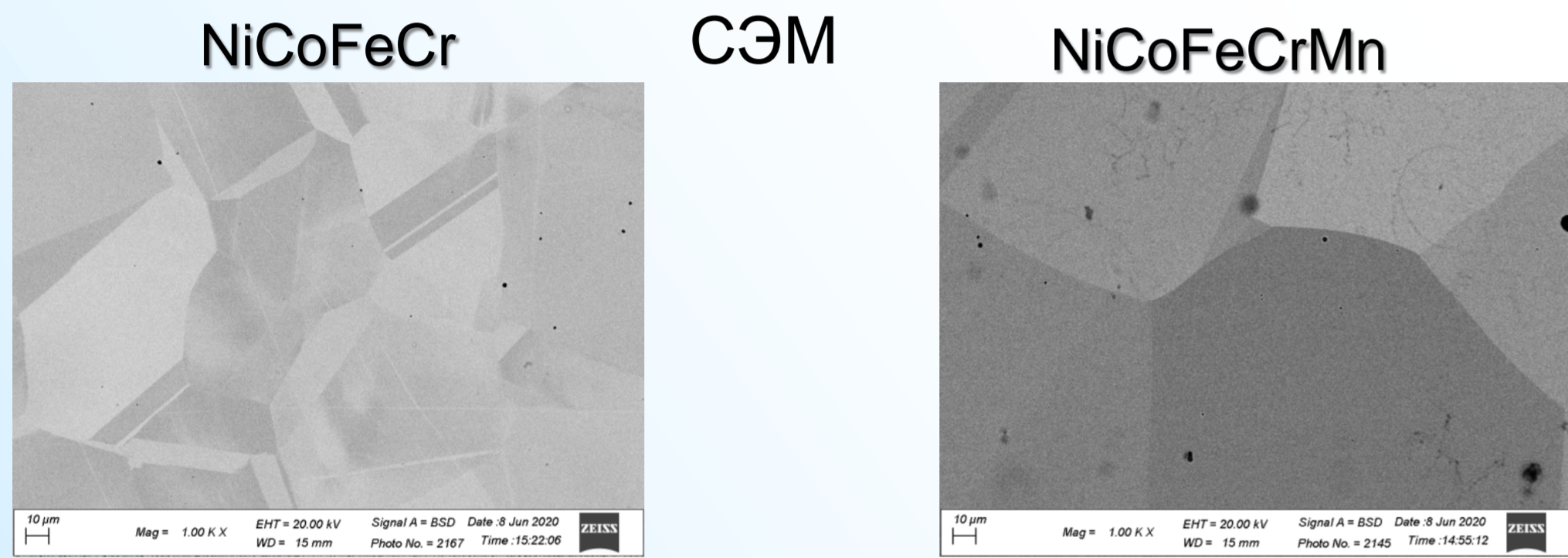
(ускоритель тяжелых ионов ДС-60)

Ионы He<sup>2+</sup> (40 кэВ) и Kr (145 МэВ),  
Дозы: до 5·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> (He) и до 1·10<sup>11</sup> см<sup>-2</sup> (Kr)  
при комнатной температуре.

Ионный ток 200 мкА.

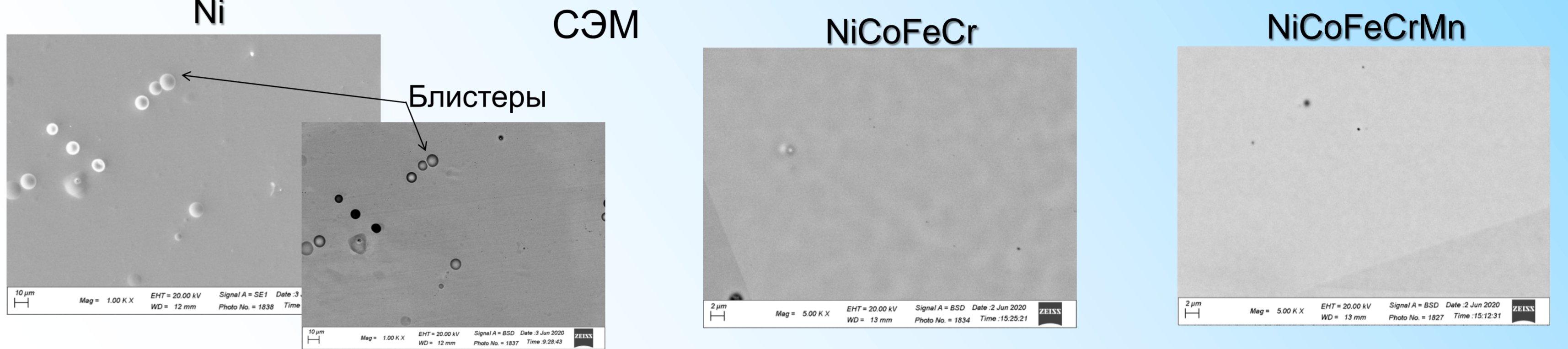


## Исходные ВЭСы



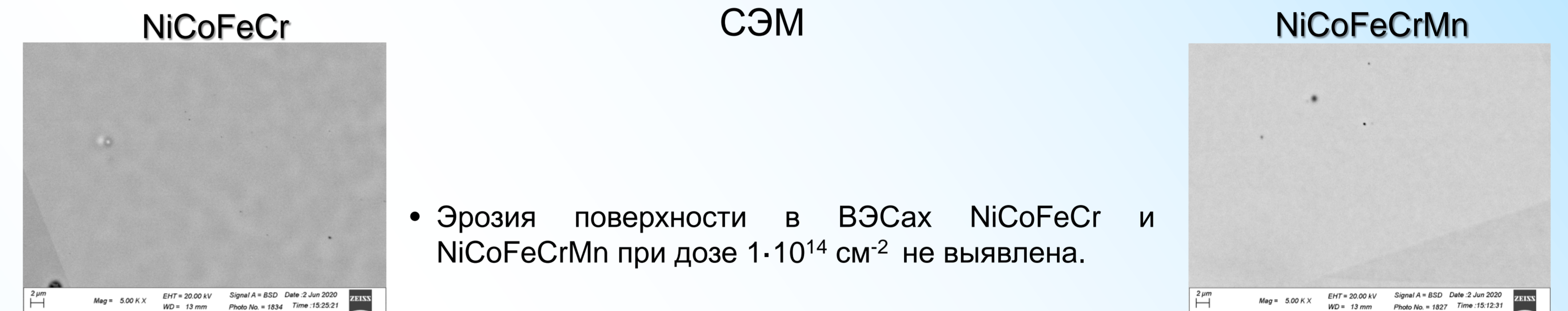
- Однофазные твердые растворы с гранецентрированной кубической решеткой
- ВЭС крупнозернистые (размер зерна около 100-300 нм).

## Микроструктура ВЭСов, облученных ионами He



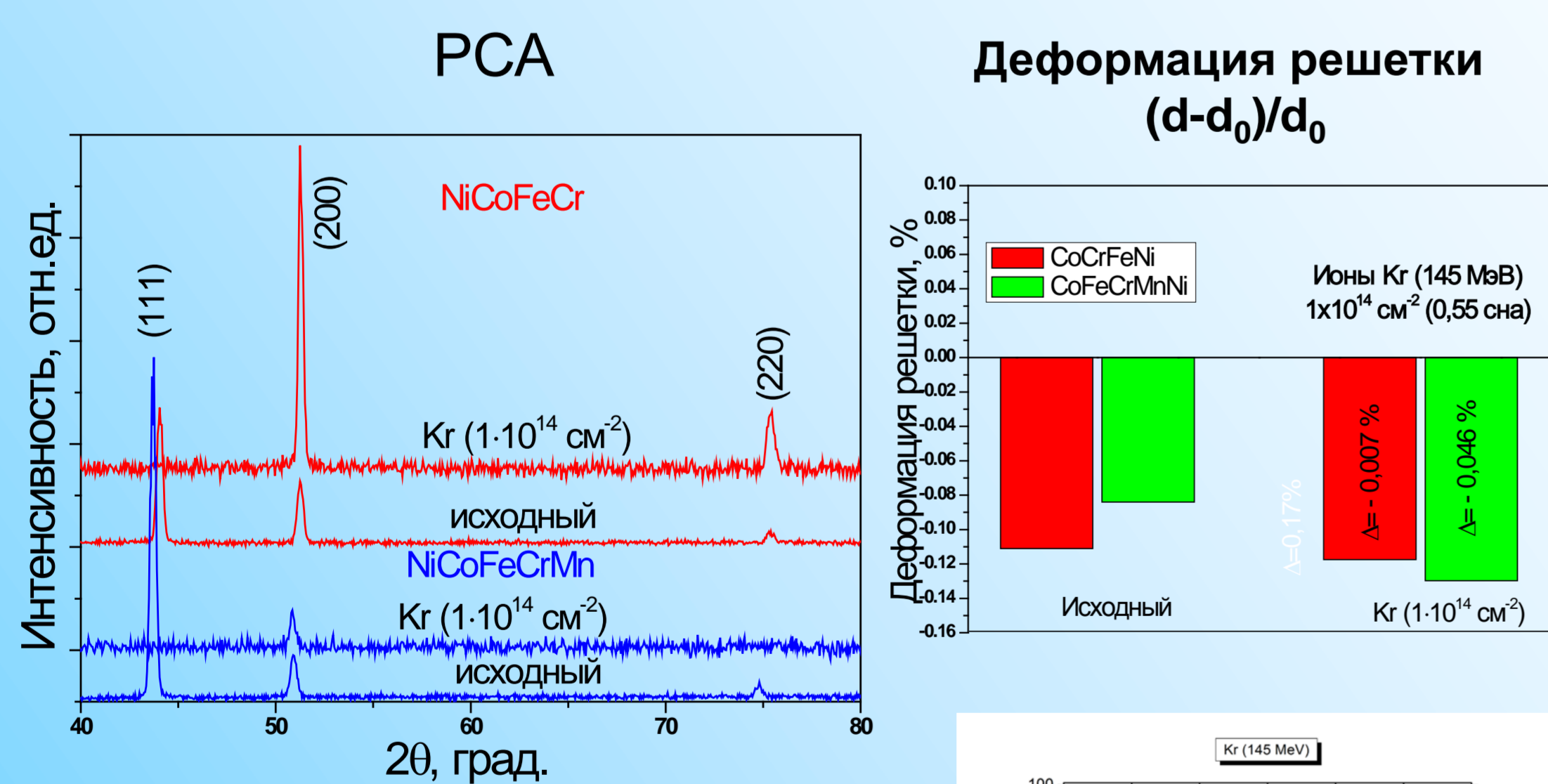
- Образование блистеров в никеле уже при дозе 3·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup>.
- При дозе 5·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> блистеры в ВЭСах NiCoFeCr и NiCoFeCrMn не образуются.

## Микроструктура ВЭСов, облученных ионами Kr

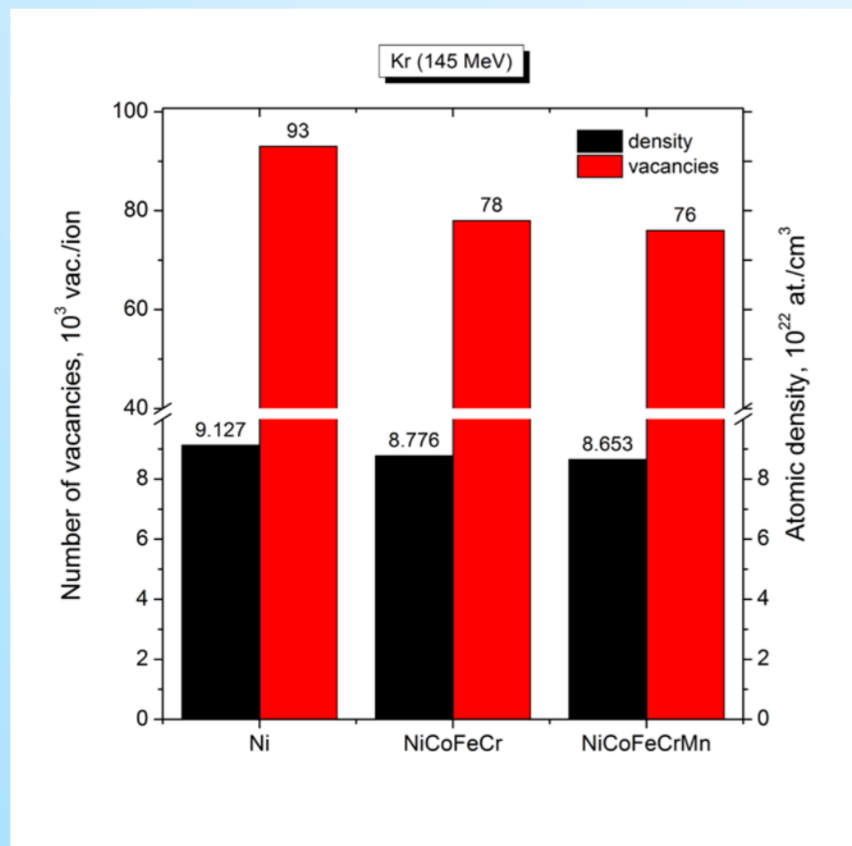


- Эрозия поверхности в ВЭСах NiCoFeCr и NiCoFeCrMn при дозе 1·10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup> не выявлена.

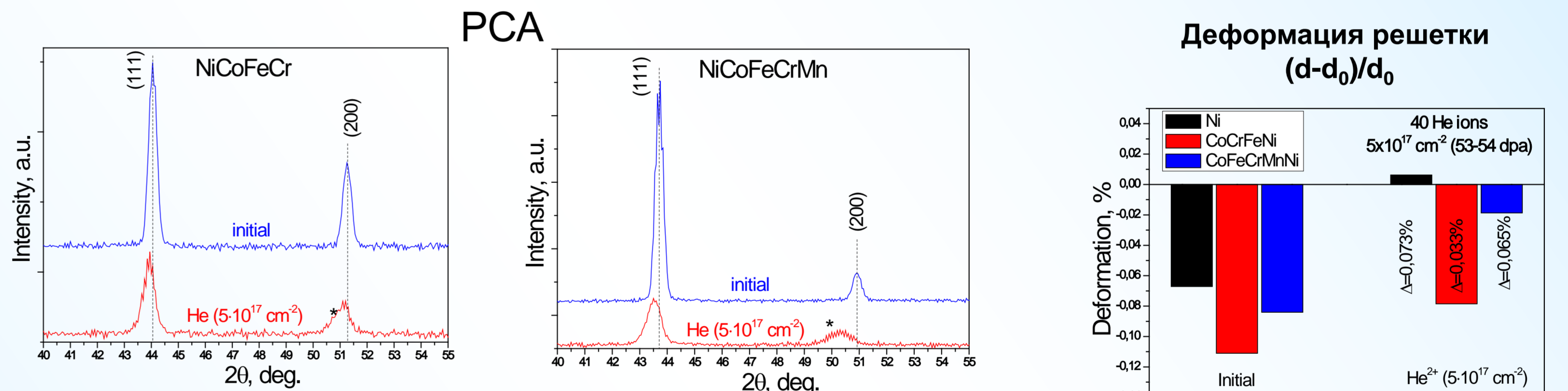
## Фазовый состав и деформации в ВЭСах, облученных ионами Kr



- Стабильность фазового состава при облучении ионами Kr.
- Уменьшение параметра решетки ВЭС при облучении ионами Kr

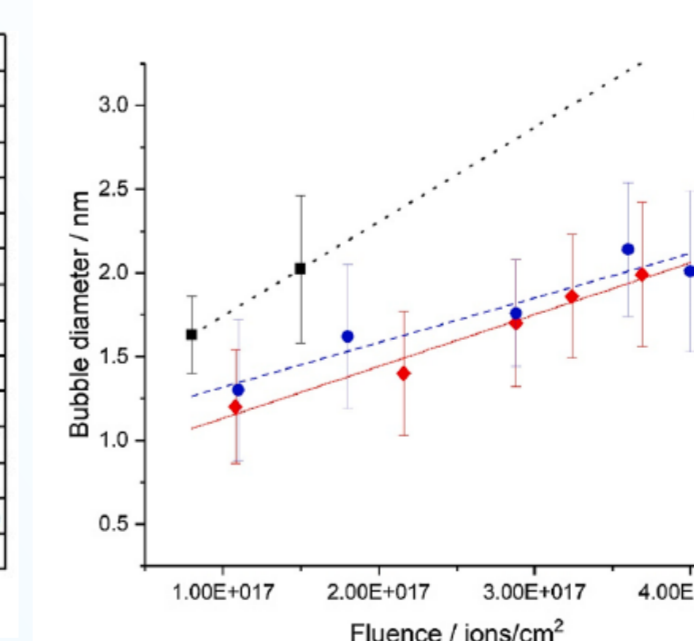
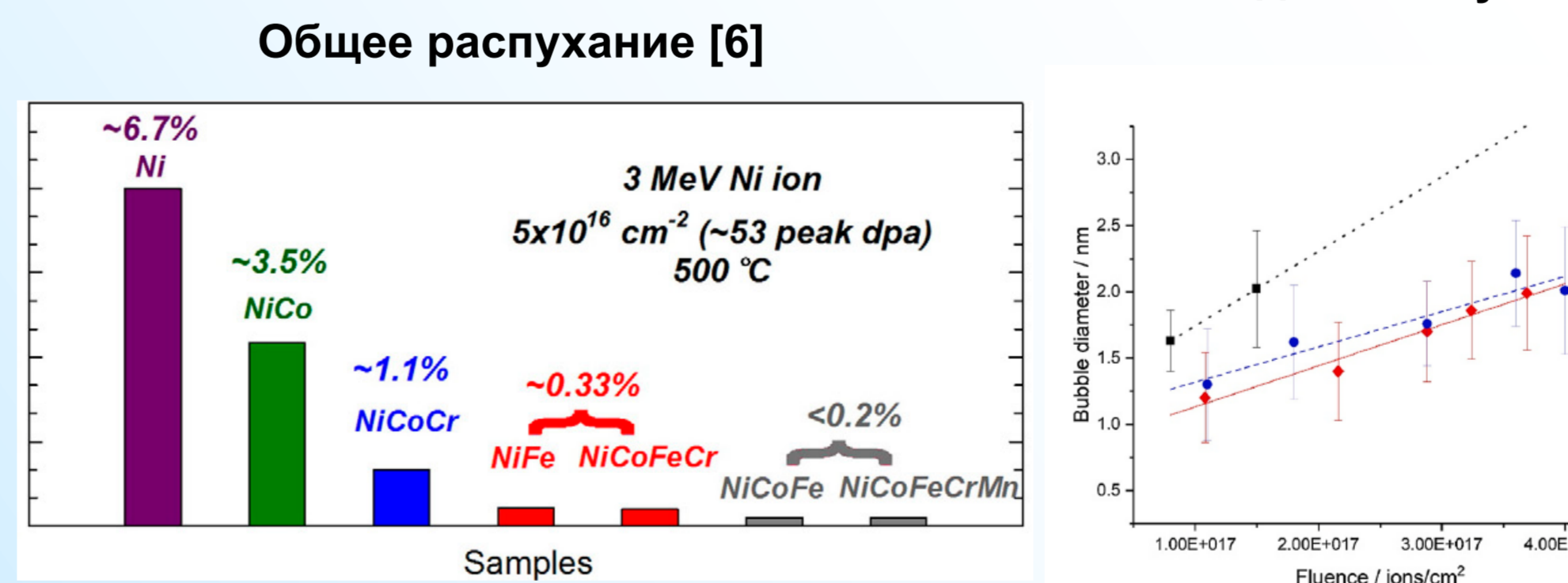


## Фазовый состав и деформации в ВЭСах, облученных ионами He



- Стабильность фазового состава при облучении ионами He.
- Увеличение параметра решетки ВЭС при облучении ионами He.
- Дополнительный пика (\*) соответствует дифракции от области с максимальной концентрацией имплантированного гелия.

## Зависимость диаметра пузырька от дозы облучения [7]



Для ВЭСов количество пар Френкеля снижается за счет увеличения рекомбинации межузельных атомов и вакансий → образования кластеров He-вакансий с более высоким отношением He/вакансий → уменьшения подвижности вакансий за счет механизма пиннинга He → образования пузырьков He с меньшими диаметрами.

## Выводы

- Методом дуговой плавки с последующей гомогенизацией, холодной прокаткой и последующим отжигом сплавов сформированы крупнозернистые (размер зерна около 100-300 мкм) однофазные твердые растворы с гранецентрированной кубической решеткой.
- Обнаружена устойчивость структуры высокоэнтропийных сплавов NiCoFeCrMn и NiCoFeCr при облучении ионами He с энергией 40 кэВ с дозой 5·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> и ионами Kr с энергией 145 МэВ и дозой 1·10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup>.
- Обнаружено уменьшение деформации решетки высокоэнтропийных сплавов, возникающей в результате имплантации ионов He, по сравнению с никелем. Это связано с уменьшением подвижности комплексов гелий-вакансия, что приводит к уменьшению диаметра пузырьков гелия и более равномерному распределению (будущие исследования с помощью ПЭМ).

## Литература

- [1]. B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight et al. // Mater Sci Eng A. 375–377 (2004) 213–218.
- [2]. J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin et al. // Adv Eng Mater. 6 (2004) 299–303.
- [3]. M.-H. Tsai, J.-W. Yeh // Mater. Res. Lett. 2 (2014) 107–123.
- [4]. D.B. Miracle, O.N. Senkov // Acta Materialia 122 (2017) 448–511.
- [5]. F. Otto, Y. Yang et al. // Acta Mater. 61 (2013) 2628–2638.
- [6]. K. Jin et al. // Scripta Materialia 119 (2016) 65–70.
- [7]. R.W. Harrison et al. Cur. Opin. in Sol.Stat.Mater. Scien. 23 (2019) 100762.



Белорусский государственный университет  
НИЛ физики ионно-плазменной  
модификации твердых тел

E-mail: Uglov@bsu.by