

## Радиационное разупорядочение - уникальный метод исследования фундаментальных свойств твердых тел

Гощицкий Б.Н., Архипов В.Е., Чукалкин Ю.Г., Карькин А.Е.



**Введение радиационных дефектов переводит упорядоченные кристаллы в новые структурные состояния, которые невозможно получить традиционными технологическими приемами. Отклик кристаллов на такое воздействие дает уникальную информацию об особенностях их электронной и решеточной подсистем.**

Известно, что физические свойства сложных упорядоченных кристаллов чрезвычайно сильно зависят от степени их упорядоченности. Мы показали, что радиационное разупорядочение таких кристаллов, т.е. введение радиационных дефектов атомного масштаба, переводит кристаллы в новые структурные состояния, устойчивые во времени, которые невозможно получить традиционными технологическими приемами. Изучение отклика кристаллов на такое воздействие позволяет получать уникальную информацию об особенностях их электронной и решеточной подсистем, определяющих экстремальные физические свойства вещества в исходном, необлученном состоянии. Развитый нами "чистый" с физической точки зрения метод изучения природы физических свойств кристаллов - радиационное разупорядочение - обеспечивает сохранение стехиометрического состава, макро- и при выполнении специальных условий облучения микрооднородность кристалла. В зависимости от вида излучения и температуры облучения можно вводить в кристалл дефекты разного сорта, плавно изменяя их концентрацию. Отжиг облученных кристаллов при температурах 800-1000 К даёт возможность восстановить на одном и том же образце любое промежуточное или исходное состояние.

Впервые такой подход мы применили в 1969 году для изучения особенностей магнитного состояния окисных магнетиков (ферриты и хромиты-шпинели, гранаты, гексаферриты) и электронной структуры сверхпроводящих интерметаллидов (структуры  $\beta$ -вольфрама, фазы Лавеса и Шевреля). В результате прохождения каскадов атом-атомных столкновений в исход-

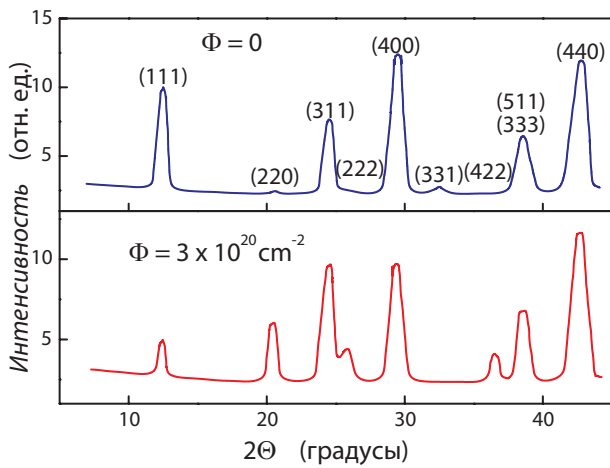
но упорядоченной кристаллической матрице образуются сильно разупорядоченные либо аморфные микрообласти эффективным размером 30-50 ангстрем. При больших дозах облучения, когда практически весь объем массивного образца подвергнут воздействию каскадов атом-атомных столкновений, и кристалл вновь становится однородным, мы наблюдали три типа новых структурных состояний:

- исходная совершенная кристаллическая структура сохраняется, однако атомы статистически перераспределяются по узлам решетки (полностью или частично исчезает дальний порядок);
- четко выраженная кристаллическая структура сохраняется, но фактически изменяется тип решетки, и в этом случае атомы катионов статистически перераспределяются по узлам решетки;
- кристаллическая структура исчезает, образец полностью аморфизуется.

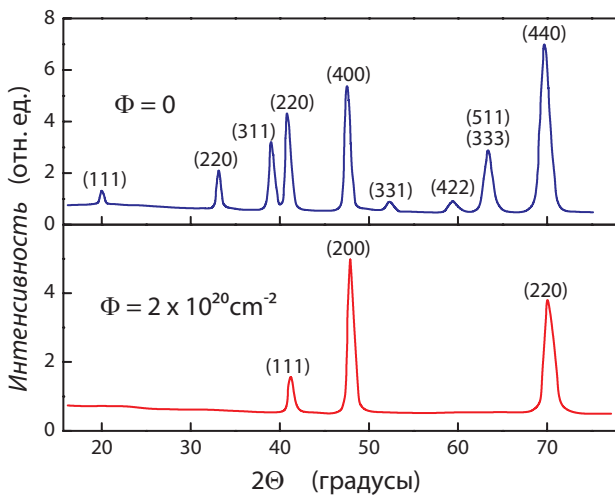
На рис. 1 а, b, c такие превращения показаны для окисных магнетиков разного состава.

Аналогичные структурные превращения мы видели и в интерметаллидах. Кардинальные структурные изменения, естественно, чрезвычайно сильно изменяют свойства кристаллов. Так, например, температура Кюри ферритов увеличивается на сотни градусов, коэрцитивная сила никелевого феррита увеличивается в сотни раз, цинковый феррит, классический парамагнетик при  $T > 10\text{K}$  в исходном состоянии, превращается при больших дозах облучения в ферримагнетик с температурой Кюри 620К.

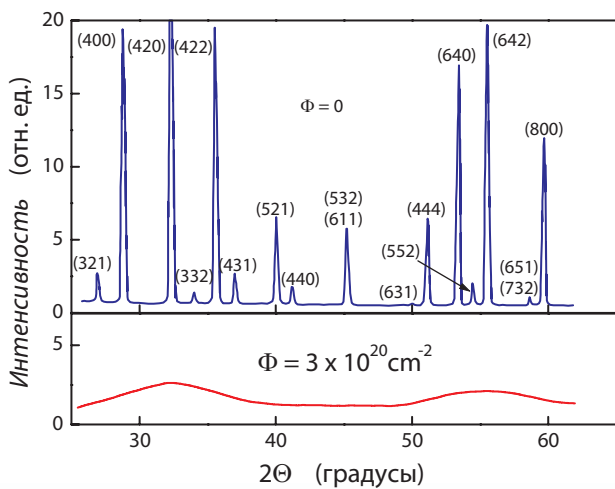
Радиационно-индуцированное аморфное состояние принципиально отличается от обыч-



a) *Мn-Zn феррит: статистическое перераспределение катионов по узлам кристаллической решётки*



b) *Магний хромит MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: изменение типа симметрии кристалла*



c) *Железо-иттриевый гранат Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>: полная аморфизация кристалла*

Рис.1

ного, полученного, например, быстрой закалкой из жидкого, в частности, существует эффект структурной "памяти", суть которого состоит в том, что аморфизованный образец "помнит" свое исходное (до облучения) структурное состояние (моно- или поликристаллическое) и при послерадиационном отжиге переходит соответственно в моно- или поликристалл.

В высокотемпературных сверхпроводниках методом радиационного разупорядочения впервые обнаружены: экспоненциальная зависимость электросопротивления от концентрации радиационных дефектов атомного масштаба, начиная с самых малых степеней беспорядка (рис.2); чрезвычайная близость электронной системы этих соединений к переходу металл-диэлектрик (ПМД); определяющая роль двумерного характера движения носителей заряда и слабой локализации в формировании свойств нормального состояния с высокими  $T_C$ ; сохранение d-симметрии энергетической щели до высоких степеней беспорядка.

В настоящее время метод радиационного разупорядочения широко используется многими научными коллективами у нас в стране и за рубежом для изучения фундаментальных свойств твердого тела.

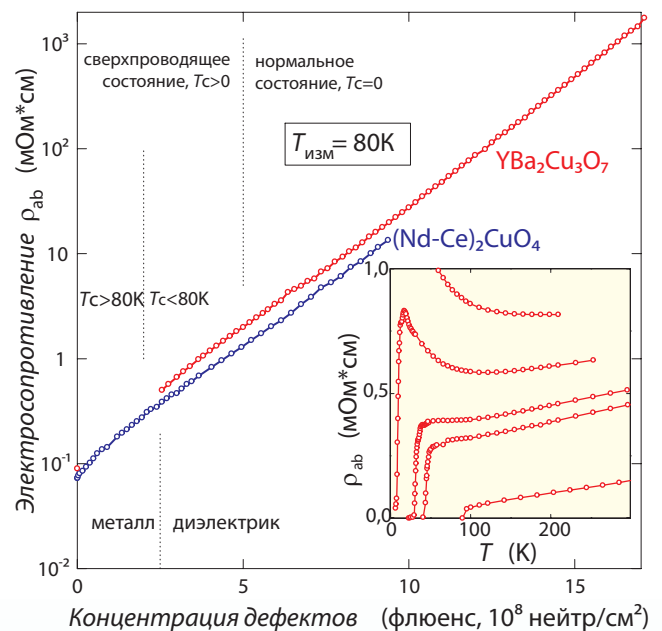


Рис.2

*Электросопротивление атомно-разупорядоченных высокотемпературных сверхпроводников*

<sup>1</sup> Б. Н. Гощицкий, В. Е. Архипов, Ю. Г. Чукалкин. *Sov. Scient. Rev/Sec. A: Phys. Rev.* 1987. v.8. P.519-608.

<sup>2</sup> А. Е. Карькин, В. В. Щенников, Б. Н. Гощицкий. *ФММ*, 1994, v.78, в. 4, с.66-75.

<sup>3</sup> A.E. Karkin and B.N. Goshchitskii. *Physics of Particles and Nuclei*, 2006, v. 37, # 6, pp. 807-836.