



Физический факультет
Московского
государственного университета
имени М.В.Ломоносова

Межфакультетский курс

ФИЗИКА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Лекция 9

Лекторы:

профессор Корнев Виктор Константинович

доцент Колотинский Николай Васильевич



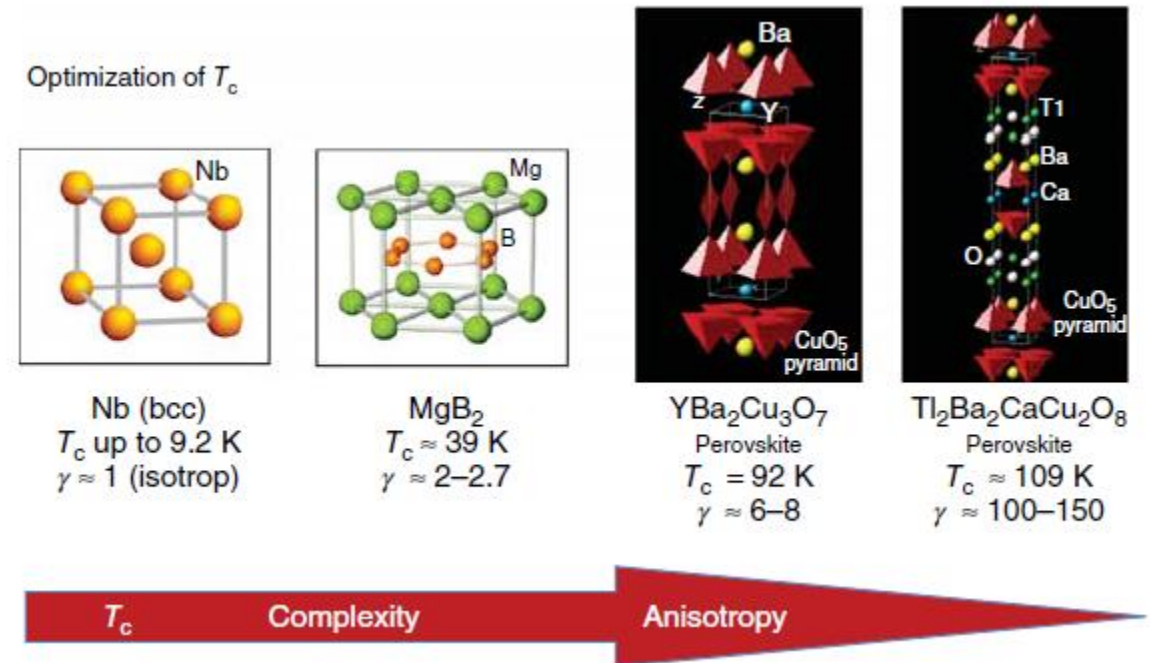
Тонкие пленки сверхпроводников

- Необходимы для создания
 - Джозефсоновских структур (СКВИДы, RSFQ, *etc.*)
 - Боллометров
 - Микроволновых фильтров (в основном на базе ВТСП)
 - Токонесущие устройства (в основном на базе ВТСП)
- Варианты технологии нанесения пленок (по сложности):
 1. Нанесение одного слоя традиционного сверхпроводника (Nb, NbN, Al,...)
 2. Нанесение одного слоя ВТСП-сверхпроводника (YBCO)
 3. Формирование джозефсоновского перехода
 4. Формирование многоэлементных структур



Применяемые сверхпроводниковые материалы

- НТСП:
 - Nb ($T_c = 9.2$ K)
 - Pb ($T_c = 7.2$ K)
 - Al ($T_c = 1.2$ K)
 - NbN ($T_c = 16$ K)
- ВТСП:
 - $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($T_c = 90 - 95$ K)
 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBAO)
 - $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-x}$ ($T_c = 85 - 90$ K)
 - ...



From: Applied Superconductivity: Handbook on Device and Application, Ed. By Paul Seidel



Применяемые материалы подложки

Требования

- Кристаллографическая решетка должна соответствовать решетке сверхпроводника и иметь близкие температурные зависимости
 - Не должно происходить химических реакций между сверхпроводником и подложкой
 - Подложка должна выдерживать процесс напыления (обладать соответствующими химическими и физическими свойствами)
-
- LaAlO_3
 - SrTiO_3
 - MgO



Создание джозефсоновских переходов

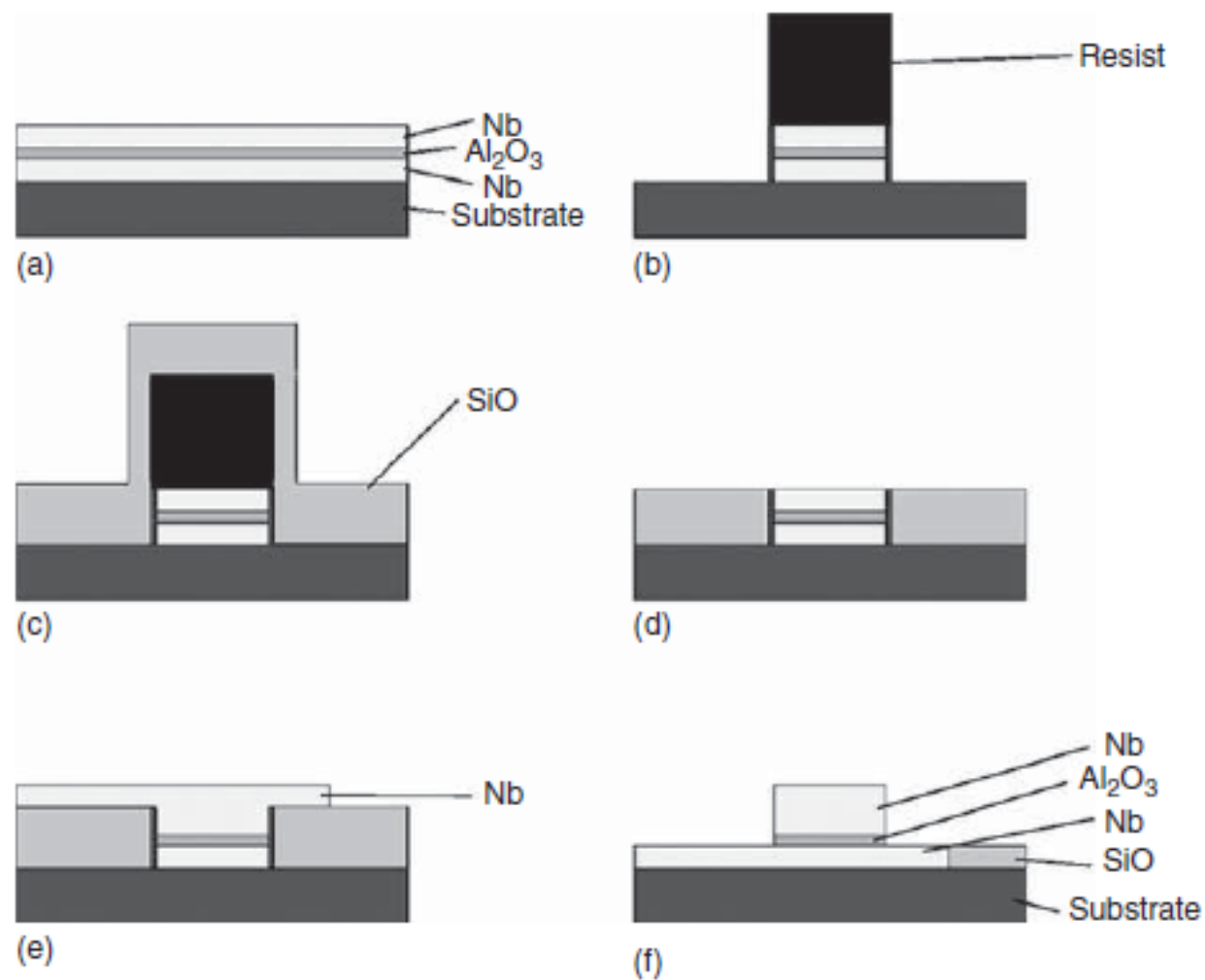
- НТСП
 - Одиночные переходы
 - Трехслойный процесс
 - Многоэлементные схемы:
 - Стандартная ниобиевая технология (на базе трехслойного процесса)
- ВТСП
 - step-edge
 - grain boundary
 - повреждение сверхпроводника





Трехслойный процесс

From: Anders, S., Schmelz, M., Fritsch, L., Stolz, L., Zakosarenko, V., Schoenau, T., and Meyer, H.-G. (2007) Submicrometer- sized, cross-type Nb-AlO_x- Nb tunnel junctions with low parasitic capacitance



Трехслойный процесс

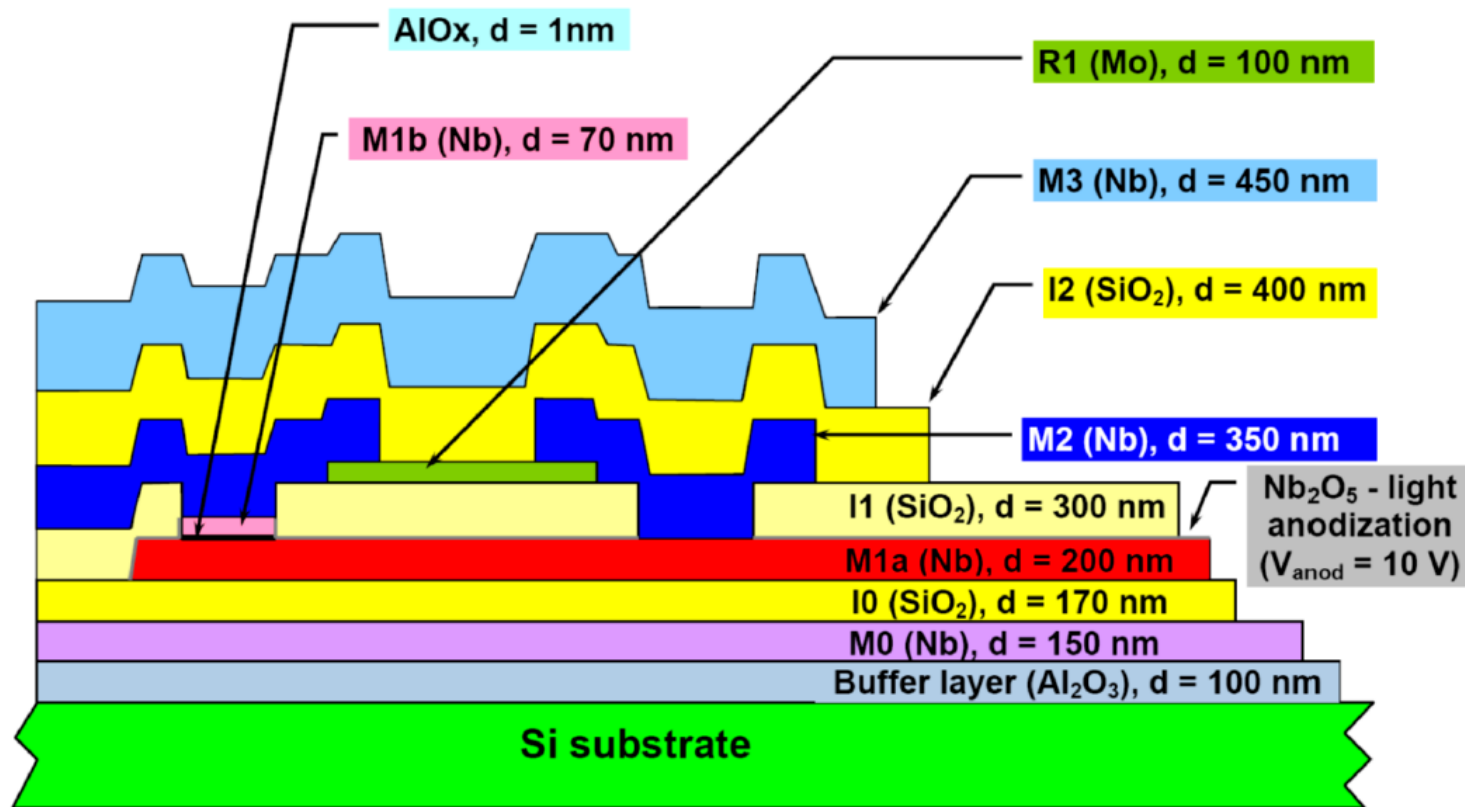
Переход	Материал	Применение
SIS	$\text{Nb} - \text{Al}/\text{AlO}_x - \text{Nb}$	RSFQ, сквиды, стандарты Вольта
	$\text{NbN} - \text{MgO} - \text{NbN}$	RSFQ
	$\text{Al} - \text{AlO}_x - \text{Al}$	Кубиты
SNS	$\text{Nb} - \text{Nb}_x\text{Si}_y - \text{Nb}$	стандарты Вольта, RSFQ
SINIS	$\text{Nb} - \text{AlO}_x - \text{Al} - \text{AlO}_x - \text{Nb}$	стандарты Вольта
SINS	$\text{Nb} - \text{Al} - \text{AlO}_x - \text{Nb}$	стандарты Вольта





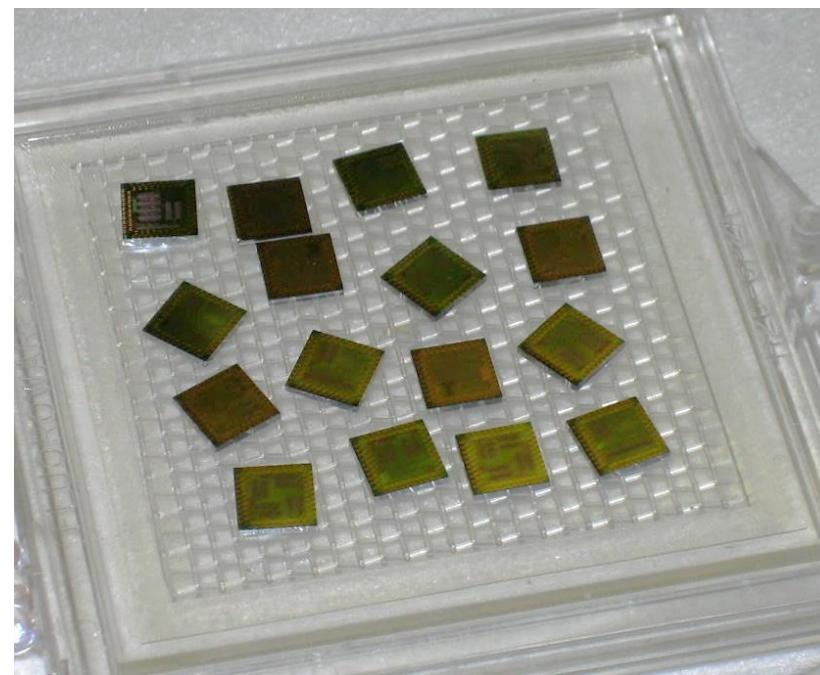
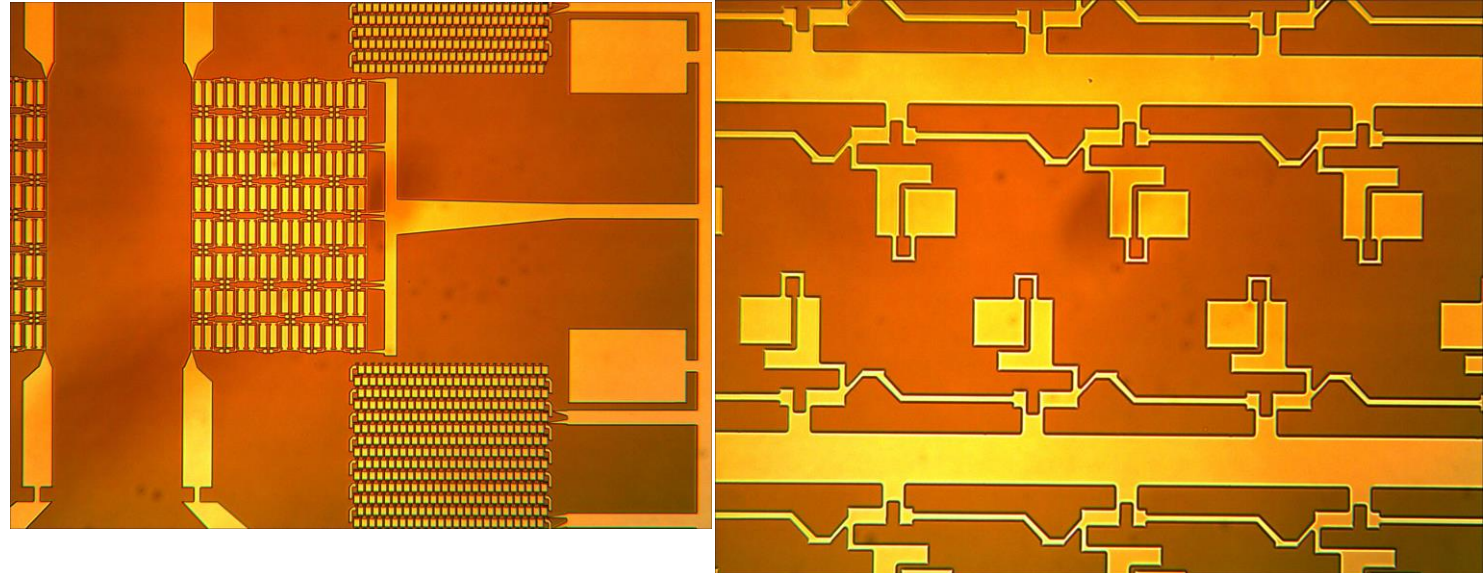
Трехслойный процесс

From: Cryointegral Design Rules
(Kotelnikov Institute of Radioelectronics)





Трехслойный процесс

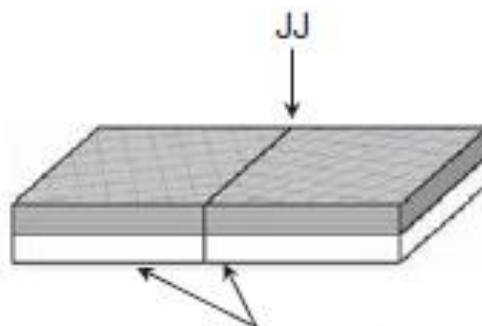




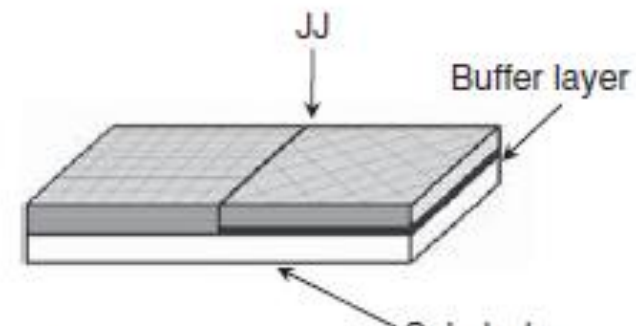
Производство ВТСП переходов

- (a) бикристаллический переход
- (b) биэпитаксиальный переход
- (c) step-edge переход
- (d) повреждение ионным-пучком
- (e) ramp-edge переход
- (f) стек

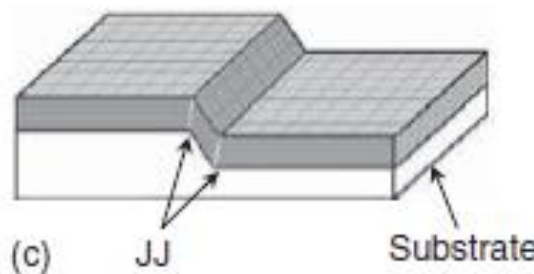
From: Applied Superconductivity:
Handbook on Device and
Application, Ed. By Paul Seidel



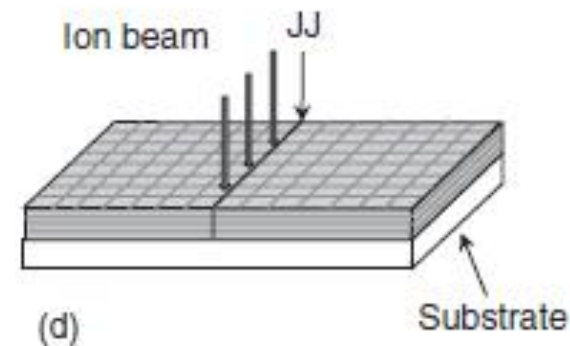
(a) Substrate (bicrystal)



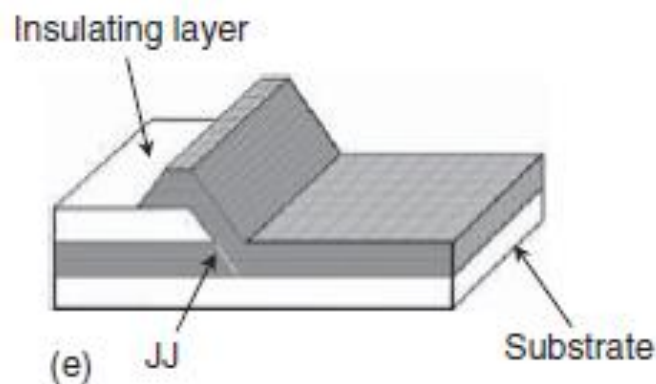
(b) Substrate



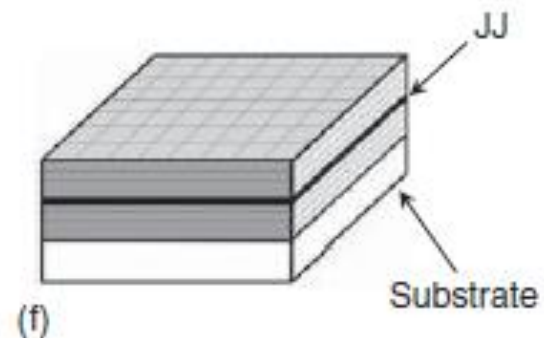
(c) JJ Substrate



(d) Substrate



(e) JJ Substrate



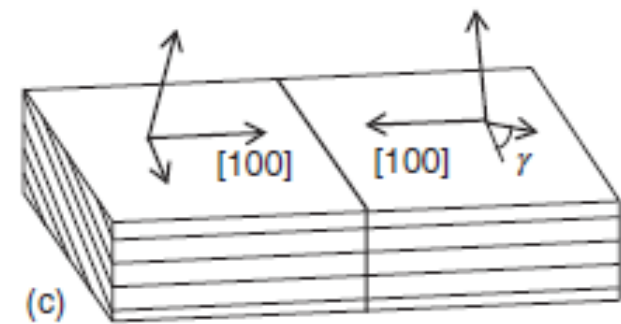
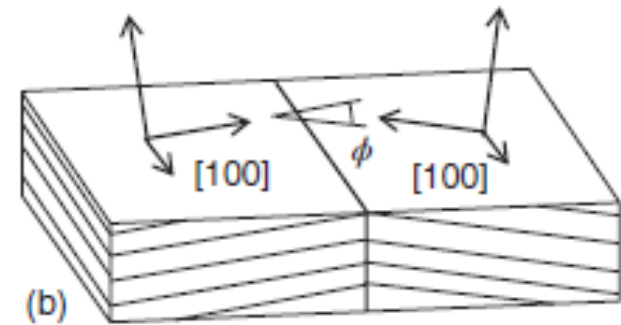
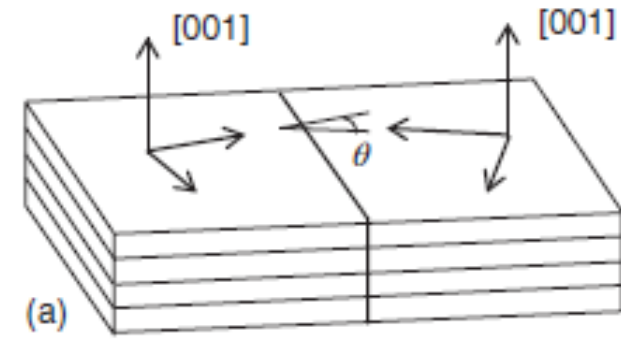
(f) Substrate



Grain-boundry

бикристаллический переход
биэпитаксиальный переход

From: Applied Superconductivity:
Handbook on Device and
Application, Ed. By Paul Seidel

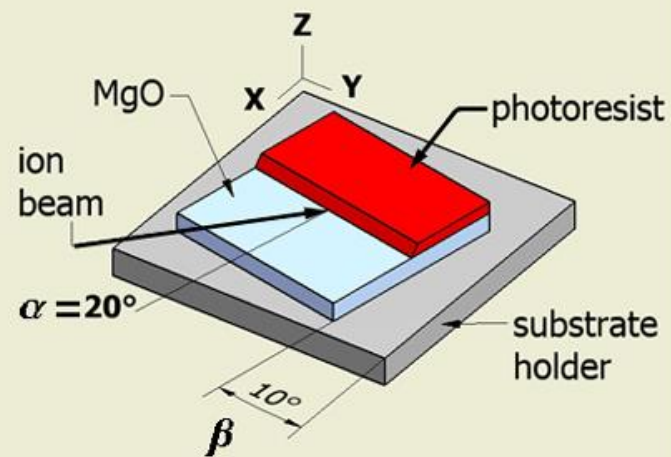




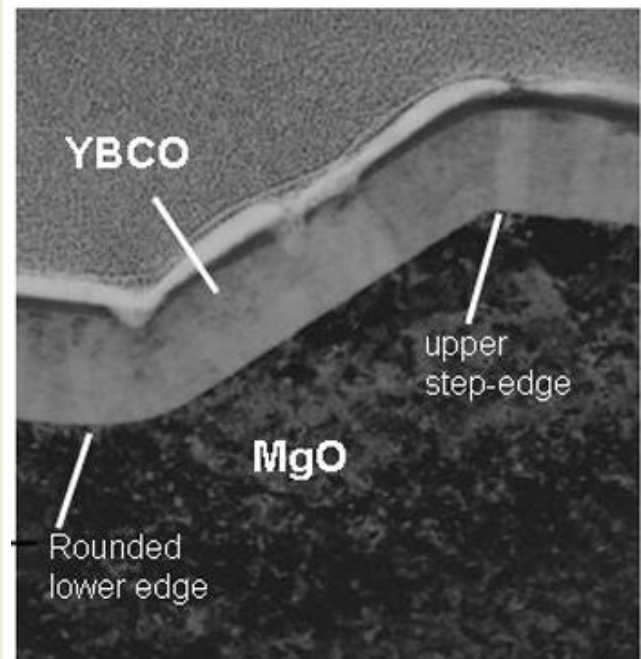
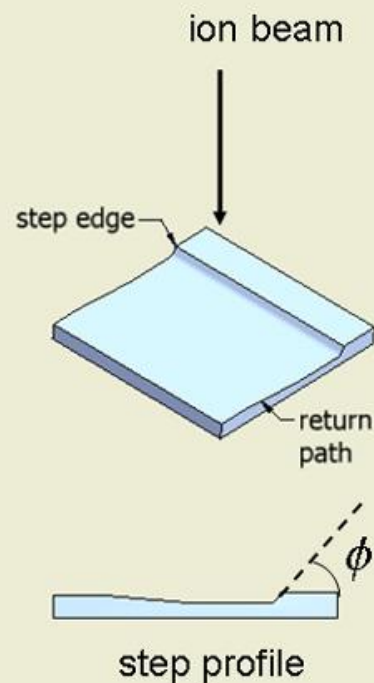
Step-edge переход

From: E E Mitchell and C P Foley
2010 *Supercond. Sci. Technol.* 23 065007

(a)



(b)





Повреждение ионным-пучком

From: Ziwen Chen et al 2022
Chinese Phys. Lett. 39 077402

