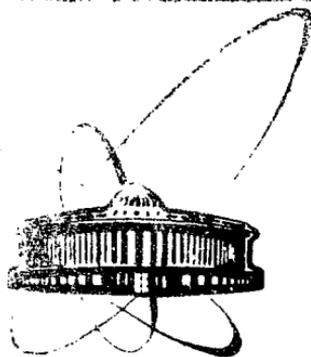


✓ SUB001005



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P14 - 12649

И. Б. Евревич, Ф. А. Тагирова, М. В. Маринов,  
Э. И. Балалыкин, А. В. Скрышник

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ  
НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

1979

P14 - 12649

И.Б.Енчевич, Ф.А.Тагирова, М.В.Маринов,  
Н.И.Балалькин, А.В.Скрыпник

**ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ  
НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК**

Направлено в "Болгарский физический журнал"

Енчевич Е.Б. и др.

P14 - 12649

Влияние ионной бомбардировки на структуру  
металлических пленок

Приводятся результаты влияния бомбардировки пленок Ag и NbTi, нанесенных на различные подложки, ионами аргона и азота на текстуру и размер зерен в пленках. Показано, что в зависимости от режимов облучения /энергия ионов 4 и 5 кэВ, плотность тока пучка -  $10 \div 100 \text{ мкА/см}^{-2}$ ; время облучения -  $5 \div 40 \text{ мин}$ / может быть получена текстура пленки в направлении  $\{110\}$  и  $\{111\}$  без применения термообработки.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОЦЯИ Софийском университете и в Институте физики БАН.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Enchevich E.B. et al.

P14 - 12649

Ion Bombardment Effect on the Structure  
of Metallic Films

The results of effect of bombardment of Ag and NbTi films, deposited on different substrate, by argon and nitrogen ions on texture and dimension of film grains are presented. It is shown that depending on irradiation modes (ion energy of 4 and 5 keV, beam current density of  $10 \div 100 \text{ мкА/см}^{-2}$ , irradiation time -  $5 \div 40 \text{ min}$ ) film density could be obtained in directions  $\{110\}$  and  $\{111\}$  without employing heat treatment.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR, the Sofia University and the Institute of Physics, BAS.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в ряде работ рассматривается поведение металлических пленок под воздействием ионной бомбардировки <sup>1,2/</sup>. Интерес к ним стимулируется, с одной стороны, возможностью воздействия на параметры пленок с целью направления их свойств в желаемую сторону <sup>3/</sup>, с другой - необходимостью исследовать их поведение в различных радиационных полях. Устройства, содержащие тонкие пленки, работают в таких полях в ускорителях заряженных частиц, ядерных реакторах, ядерных приборах и в космическом пространстве. Энергетический диапазон радиационных полей чрезвычайно широк, а их тип весьма разнообразен, но интересно отметить, что даже в ускорителях на сверхвысокие энергии существует ионная компонента с энергией порядка 1-2 кэВ <sup>4/</sup>.

Металлические пленки, нанесенные на аморфные стеклянные подложки, при облучении низкоэнергетическими ионами аргона меняют свою первоначальную преимущественную ориентацию или свою аморфную структуру на преимущественную ориентацию  $[110]$ . Настоящая работа рассматривает экспериментально зависимость механизма ретекстурирования тонких пленок при измененных до некоторой степени условиях, в частности, при нанесении металлической пленки на подложку других различных материалов и при облучении ионами других элементов. По полученным результатам можно судить о том, в какой мере ранее высказанные предположения о механизме ретекстурирования остаются в силе и в этих случаях.

Настоящая работа, кроме того, предлагает модель для исследования сравнительного поведения и других материалов, например, сверхпроводящих, с аналогичной кристаллической структурой.

## 2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовались серебряные пленки, нанесенные методом вакуумного испарения на пластинки из полированной меди или

монокристаллического кремния. Выбирался режим нанесения, при котором толщина пленки без ионного воздействия составляла 1,5-2 мкм. Снимались электронограммы пленок до и после ионного воздействия на них, а также электронограммы пленок, подвергающихся ионной бомбардировке во время нанесения. Снимались и электронограммы подложек до нанесения на них пленок.

В некоторых случаях для выяснения морфологии полученных покрытий делались электронно-микроскопические снимки. Для облучения использовались ионы аргона и азота. Электронограммы были выполнены с помощью электронного микроскопа производства ГДР при энергии электронного пучка 50 кэВ; электронно-микроскопические снимки - с помощью электронного микроскопа японского производства с энергией 100 кэВ с реплик. Облучение ионами аргона происходило в самом микроскопе - либо после нанесения покрытия, либо одновременно с ним. Облучение ионами азота проводилось на отдельной установке <sup>5/</sup>.

Режим нанесения пленок во всех случаях был одним и тем же. Толщина их контролировалась в режиме без бомбардировки. При одновременном нанесении пленок с бомбардировкой сохранялись тот же режим и продолжительность нанесения, что и в предыдущем случае. Таким образом, реальная толщина пленок, нанесенных одновременно с бомбардировкой, или облученных после их нанесения, уменьшалась из-за выноса серебра. Облучение в электронном микроскопе проводилось с энергией 5 кэВ, на отдельной установке - с энергией 4 кэВ.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Серебряный слой во всех сериях экспериментов наносился при комнатной температуре. Эксперименты с серебряными пленками проводились в две серии: 1 - на медных отшлифованных пластинках, 2 - на кремниевых монокристаллических, отшлифованных, с ориентацией  $\{111\}$ . Время нанесения пленок составляло 2 мин.

На рис. 1 представлены результаты, полученные с серебряной пленки на медной подложке без ионного облучения. Рис. 1а представляет электронно-микроскопическую фотографию серебряного слоя, рис. 1б - электронограмму медной подложки до нанесения на ней слоя, рис. 1в - электронограмму пленки.

На рис. 2 даны снимки также для серебряной пленки на медной подложке, но облученной после нанесения слоя ионами аргона с энергией 5 кэВ в течение 15 мин при средней плотности измеренного тока 10 мкА/см<sup>2</sup>. Рис. 2а представляет электронно-микроскопическую фотографию пленки, а снимки



а/



б/



в/

Рис. 1. а - серебряный слой на медной подложке. Электронно-микроскопический снимок. Пленка толщиной 1,5 - 2 мкм наносилась при комнатной температуре без ионной бомбардировки; б - электронограмма медной подложки, в - электронограмма серебряной пленки.

2б и 2в - электронограммы с различных мест ее облученной поверхности.

На рис. 3 представлены снимки серебряной пленки, нанесенной при бомбардировке ее ионами аргона. Энергия и измеренная



a/

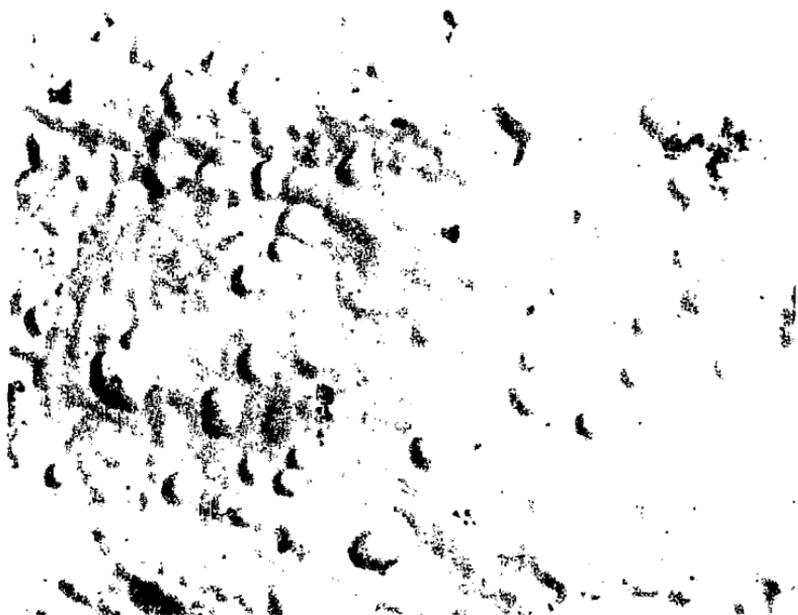


б/



в/

**Рис. 2.** а - электронно-микроскопический снимок серебряной пленки толщиной 1,5-2 мкм. После нанесения пленка подвергалась бомбардировке ионами аргона с энергией 5 кэВ в течение 15 мин при плотности тока  $10 \text{ мкА/см}^2$ . б - электронограмма серебряной пленки на медной подложке после облучения; в - электронограмма другого участка той же пленки.



a/



б/

Рис. 3. а - электронно-микроскопический снимок серебряной пленки, нанесенной на медную подложку при том же режиме, что и на рис. 1, но с одновременной бомбардировкой ионами аргона с энергией 5 кэВ при плотности тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение времени нанесения 2 мин, б - электронограмма серебряной пленки, нанесенной на медную подложку с одновременной ионной бомбардировкой.

плотность пучка ионов аргона были такими же, как и в предыдущем случае, время бомбардировки совпадало с временем нанесения пленки. Рис. 3а - электронно-микроскопическая фотография поверхности пленки, 3б - ее электронограмма.

На рис. 4 представлены результаты облучения азотом серебряных пленок после их нанесения на медные пластинки. Облучение проводилось на упомянутой отдельной установке при рабочем вакууме порядка  $10^{-5}$  мм рт.ст. Энергия облучения составляла 4 кэВ. Фотографии 4а и 4б представляют электронограммы центральной и боковой областей поверхности серебряной пленки при ее облучении пучком ионов азота. Время облучения составляло 35 мин, ток через электрод, на котором был установлен образец, составлял 100 мкА на площади около  $1 \text{ см}^2$ .

Электронограммы пленок, нанесенных одновременно с бомбардировкой аргоном и подвергшихся на отдельной установке дополнительной бомбардировке ионами азота, показаны на фотографиях 4в /время облучения 15 мин при средней плотности тока  $100 \text{ мкА/см}^2$  / и 4г /время облучения 4 мин при средней плотности тока  $35 \text{ мкА/см}^2$  /. Энергия ионов составляла, как и в предыдущем случае, 4 кэВ.

Электронограммы пленок, облученных ионами аргона с энергией 5 кэВ при средней плотности тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин в установке после нанесения серебряного слоя, а затем облученных дополнительно на отдельной установке пучком ионов азота с энергией 4 кэВ, представлены на рис. 4д и 4е. На первой из них время облучения азотом составляло 15 мин при токе  $100 \text{ мкА/см}^2$ , на второй - 4 мин при средней плотности тока  $35 \text{ мкА/см}^2$ .

Данные, связанные со второй серией экспериментов, представлены на рис. 5-8. Рис. 5а и 5в представляют соответственно электронно-микроскопический снимок и электронограмму серебряного слоя, наносимого без ионной бомбардировки; 5б - электронограмму кремниевой пластинки до нанесения на нее серебряной пленки.

На рис. 6а и 6б представлены электронно-микроскопические снимки пленки, нанесенной на кремний с последующей бомбардировкой пучком ионов аргона с энергией 5 кэВ и средней плотностью измеренного тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин. Рис. 6в представляет электронограмму этой же пленки.

На рис. 7а дан электронно-микроскопический снимок, а на рис. 7б - электронограмма пленки, нанесенной одновременно с бомбардировкой ионами аргона с энергией 5 кэВ и средним измеренным током  $10 \text{ мкА/см}^2$ .

На рис. 8а представлена электронограмма пленки, облученной после нанесения ионами азота на отдельной установке.

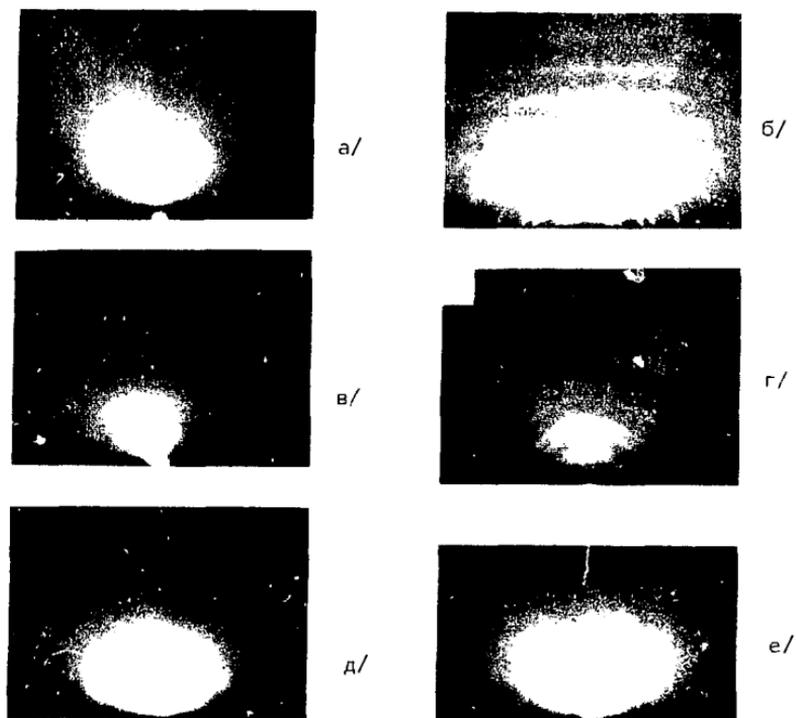
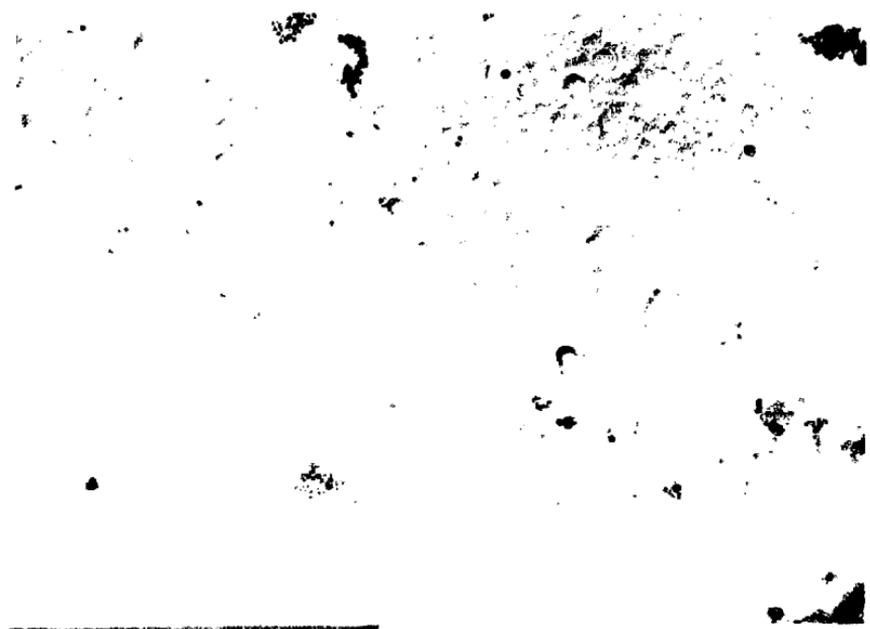


Рис. 4. Электронограммы серебряных пленок на медном основании, облученных ионами азота. а - пленка после нанесения бомбардировалась ионами азота с энергией 4 кэВ при плотности  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 35 мин; б - электронограмма боковой области той же пленки, что и на снимке 4а; в - электронограмма пленки, нанесенной с одновременной ионной бомбардировкой в режиме, указанном на рис. 3, но с дополнительным облучением ионами азота с энергией 4 кэВ при плотности  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин; г - электронограмма такой же пленки, как и на снимке 4в, только обработка ионами азота шла при плотности  $35 \text{ мкА/см}^2$  в течение 4 мин; д - пленка после нанесения бомбардировалась сначала ионами аргона с энергией 5 кэВ,  $10 \text{ мкА/см}^2$ , в течение 15 мин, а затем ионами азота с энергией 4 кэВ,  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин; е - электронограмма пленки, нанесенной и обработанной аргоном так же, как и на рис. 4д. Облучена затем ионами азота в течение 4 мин при токе  $35 \text{ мкА/см}^2$ .



а/



б/



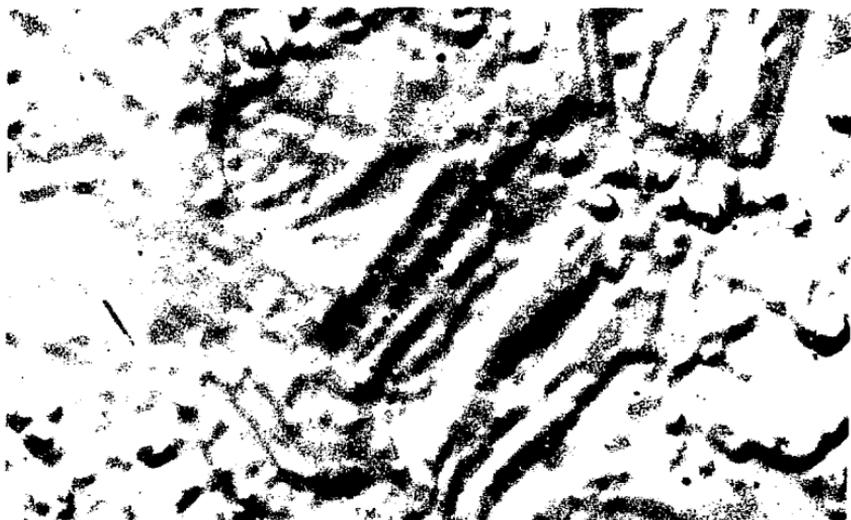
в/

Рис. 5. а - электронно-микроскопический снимок серебряной пленки толщиной 1,5-2 мкм, нанесенной без бомбардировки при комнатной температуре на подложку из монокристаллического кремния с ориентацией  $[111]$ . б - электронограмма кремниевой подложки с Кикучи-линиями. в - электронограмма серебряной пленки на кремниевой подложке.

Энергия ионов - 4 кэВ, средняя плотность тока -  $100 \text{ мкА/см}^2$ , время облучения - 15 мин. Рис. 8б - электронограмма такой же пленки, с той лишь разницей, что средняя плотность тока на образце составляла  $35 \text{ мкА/см}^2$ , а время облучения - 4 мин.

Электронограммы рис. 8в,г,д и 9 сняты с образца, подвергшегося двукратному облучению после нанесения пленки - сначала ионами аргона с энергией 5 кэВ со средней плотностью  $15 \text{ мкА/см}^2$  в установке нанесения и временем облучения 15 мин, а потом - на внешней установке - ионами азота с энергией 4 кэВ, средней плотностью тока  $100 \text{ мкА/см}^2$  и временем облучения 15 мин. Электронограммы рис. 8г,д,е сняты с периферии, промежуточного радиуса и центра облученного образца соответственно.

Предварительная серия экспериментов была связана с облучением сверхпроводящей титано-ниобиевой пленки толщиной



а/

Рис. 6. а,б - электронно-микроскопические снимки серебряной пленки толщиной 1,5-2 мкм, нанесенной при комнатной температуре на подложку из монокристаллического кремния, а затем облученной ионами аргона с энергией 5 кэВ при плотности тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин. Увеличение 30000 и 16000 соответственно; в - электронограмма серебряной пленки на кремниевом основании, облученной ионным пучком после нанесения. Ориентация основания  $\{111\}$ .



б/



в/

около 6000 Å и средним процентом содержания компонент около 50%, нанесенной на установке ОНМУ ОИЯИ <sup>111</sup>. Пленка была снята со стенок медной поверхности СВЧ сверхпроводящего резонатора. Из-за жесткости пленки возникли значительные трудности при получении ее электронограммы. Выход был найден путем натяжения винтом зажатой с двух сторон пленки.

Экспериментальные результаты по облучению титано-ниобиевой пленки представлены на рис. 9. Электронограммы рис. 9а, б сняты с разных мест поверхности необлученной пленки. Электронограммы 9в и 9г сняты с поверхности пленки, облученной ионами азота с энергией 4 кэВ. Снимок 9в получен с пленки,



а/



б/

Рис. 7. а - электронно-микроскопический снимок серебряной пленки, нанесенной на подложку из монокристаллического кремния  $[111]$  для получения толщины 1,5-2 мкм с одновременной бомбардировкой ионами аргона с энергией 5 кэВ при плотности тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение 2 мин; б - электронограмма серебряной пленки, нанесенной на кремниевую подложку при одновременной бомбардировке ионами аргона.

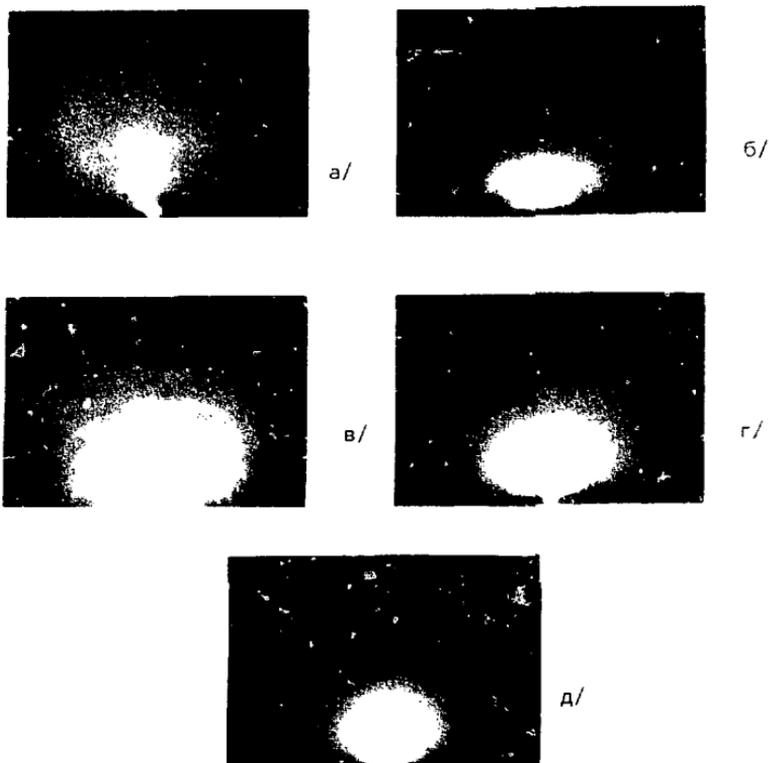


Рис. 8. Электронограммы серебряных пленок на кремниевой подложке, облученных ионами азота с энергией 4 кэВ. а - электронограмма серебряной пленки, бомбардированной после нанесения при плотности тока  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин, б - электронограмма такой же пленки, как и на снимке 8а, только при облучении ионами азота при токе  $35 \text{ мкА/см}^2$  за время 4 мин; в,г,д - электронограммы пленки, подвергшейся первоначальной бомбардировке ионами аргона с плотностью  $10 \text{ мкА/см}^2$  и энергией 5 кэВ в течение 15 мин, а затем - облучению ионами азота с энергией 4 кэВ и средним током  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин. /в - периферия, г - промежуточный радиус, д - центр облучаемого пятна/.

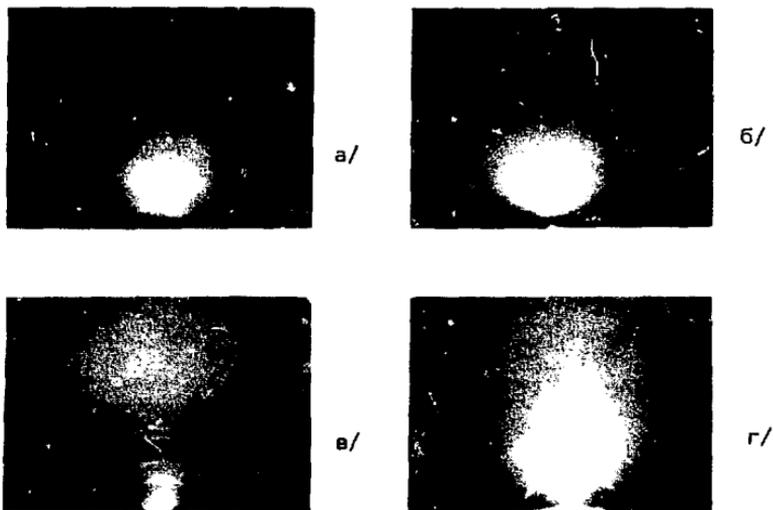


Рис. 9. а,б - электронограммы с разных мест поверхности титано-ниобиевой пленки до ее облучения. Пленка толщиной 5900 Å была снята с поверхности медного ВЧ-резонатора. в - электронограмма титано-ниобиевой пленки после ее облучения ионами азота с энергией 4 кэВ в течение 40 мин при плотности 100 мкА/см<sup>2</sup>. г - электронограмма титано-ниобиевой пленки после ее облучения ионами азота с энергией 4 кэВ в течение 5 мин при плотности 50 мкА/см<sup>2</sup>.

обработанной при средней плотности тока 100 мкА/см<sup>2</sup> в течение 40 мин, а г - 50 мкА/см<sup>2</sup> в течение 5 мин.

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прежде всего, интересно учесть состояние поверхностей, на которые наносились серебряные пленки. Дифракционная картина /рис. 1б/ медной подложки типична для поликристаллической структуры без преимущественной ориентации монокристаллитов.

Электроннограмма монокристаллической кремниевой подложки на рис. 5б с типичными Кикучи-линиями указывает на совершенство ее структуры  $|111|$  и на высокое качество обработки поверхности.

Морфология пленок, нанесенных без облучения ионами на медную и кремниевую подложки/см. рис. 1а и 5а соответственно/, не имеет видимых отличий. То же самое можно сказать и о текстуре пленок из сравнения рис. 1в и 5в, где на обеих электроннограммах четко выявлена текстура  $|110|$ . Интересно отметить отличие результатов от тех, когда серебряная пленка наносилась на стеклянную аморфную подложку <sup>6/</sup>, причем преимущественная текстура пленки, полученной при нанесении в близких условиях без облучения, была  $|111|$ .

Пленки, обработанные пучком ионов аргона после нанесения их как на медь /рис. 2а/, так и на кремний/рис. 6а и б/, имеют укрупненный размер зерен и более глубокий рельеф по сравнению с необработанными /см. рис. 1а и 5а/. Создается впечатление, что местами возникли очаги оплавления, причем они крупнее на кремниевой подложке, что, возможно, связано с меньшей ее теплопроводностью.

Электроннограммы этих же пленок как на меди /рис. 2б и в/, так и на кремнии /рис. 6в/ указывают на текстурирование в направлении  $|110|$  в результате ионного воздействия, выраженное значительно четче, чем при не облученных ионными пучками пленках /рис. 1в и 5в/. Особенно высокой степени оно достигает на меди, на что указывают параллельные линии, в которых сгруппированы дифракционные пятна электроннограммы. При этом можно добавить, что в отличие от случая нанесения пленки на аморфную подложку /стекло/<sup>6/</sup>, где первоначальная ориентация  $|111|$  меняется на  $|110|$ , здесь имеет место усиление первоначально существующего текстурирования  $|110|$ . Этот механизм хорошо согласуется с представлением о минимальном распылении ионным пучком кристаллитов, обладающих ориентацией  $|110|$ <sup>2/</sup>.

Предыдущие данные получены при плотностях тока облучения в среднем  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин. На рис. 4 и 8 содержатся данные по облучению большими дозами таких же пленок на медной и кремниевой подложках соответственно.

Так, например, электроннограмма рис. 4а, полученная с центральной области пленки, подвергшейся после ее нанесения на подложку облучением ионами азота с энергией 4 кэВ при средней плотности тока  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 35 мин, указывает на аморфизацию поверхности. По краям же области облучения пленки на электроннограмме рис. 4б видна четкая текстура  $|110|$ . Аморфизация видна и на электроннограмме рис. 8а

центральной области облучения пленки, нанесенной на кремний и облученной после этого ионами азота при той же энергии со средней плотностью  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин. Слабо выраженная текстура  $\{110\}$  видна на электронограмме /рис. 86/ пленки на кремниевой подложке, подвергшейся после нанесения облучением ионами азота с энергией 4 кэВ при средней плотности тока  $35 \text{ мкА/см}^2$  в течение 4 мин.

Подобная картина наблюдается и на электронограммах пленок на медной подложке, подвергшихся после нанесения двукратному облучению - сначала ионами аргона с энергией 5 кэВ в течение 15 мин и плотностью  $10 \text{ мкА/см}^2$ , затем - ионами азота с энергией 4 кэВ в течение 15 мин со средней плотностью  $100 \text{ мкА/см}^2$  /рис. 9д/, либо в течение 4 мин со средней плотностью тока  $35 \text{ мкА/см}^2$  /рис. 4е/. На первой из них видна аморфизация, на второй - поликристаллическая структура.

Электронограммы пленок, нанесенных на кремниевую подложку и обработанных пучком аргона в аналогичных условиях, а потом облученных ионами азота с энергией 4 кэВ током со средней плотностью  $100 \text{ мкА/см}^2$  в течение 15 мин, изображены в порядке убывания расстояний от центра пучка на рис. 8в, г и д соответственно. Видно, что ярко выраженная на рис. 8в текстура  $\{110\}$  начинает сглаживаться /см. рис. 8г/, а на рис. 8д начинают проглядывать Кикучи-линии кремниевой монокристаллической подложки.

Особо интересными представляются результаты по нанесению серебряных пленок на медь /рис. 3/ и кремний /рис. 4/ с одновременной бомбардировкой ионами аргона с энергией 5 кэВ и средней плотностью тока  $10 \text{ мкА/см}^2$  в течение времени нанесения 2 мин. Прежде всего, из сравнения рис. 3а с рис. 2а и рис. 1а, а также рис. 7а с рис. 6а и 5а, видно значительное морфологическое отличие - размеры кристаллитов, в этом случае крупнее и рельеф более сглажен. Сравнение рис. 3а с рис. 7а указывает на значительно более высокую однородность пленки, наносимой на кремний.

Электронограммы рис. 3б и 7б показывают четко выраженную текстуру  $\{111\}$ , в то время как при нанесении пленки на стекло с одновременной бомбардировкой ионами аргона <sup>71</sup> наблюдалась преимущественная ориентация  $\{110\}$ . Ориентация  $\{111\}$  особенно четко выявлена в случае пленки на кремниевой подложке, что, вероятно, связано с эпитаксиальным влиянием монокристалла на пленку.

Для пленок, нанесенных на медь с одновременной бомбардировкой ионами аргона в течение 2 мин при энергии 5 кэВ и средней плотностью тока  $10 \text{ мкА/см}^2$ , а затем облученных ионами азота с энергией 4 кэВ и средней плотностью тока

100 мкА/см<sup>2</sup> в течение 15 мин, видна слабая остаточная текстура  $\{110\}$  по краям образца /электронограмма рис. 4в/, либо потеря текстуры и переход к поликристаллической структуре в центре образца /электронограмма рис. 4г, полученная при энергии ионов азота 4 кэВ при средней плотности тока 35 мкА/см<sup>2</sup> в течение 4 мин/.

Наконец, на рис. 9 показаны предварительные результаты по облучению титано-ниобиевой пленки. Электронограммы рис. 9а и 9б, снятые с разных мест пленки до ее бомбардировки, указывают на аморфную поверхностную структуру. Те же самые пленки после облучения ионами азота с энергией 4 кэВ и средней плотностью тока 100 мкА/см<sup>2</sup> в течение 40 мин /электронограмма рис. 9в/ и 50 мкА/см<sup>2</sup> в течение 5 мин /электронограмма рис. 9г/ показывают текстуру  $\{100\}$  и  $\{111\}$ .

Этот результат расходится с данными рентгеноструктурного анализа такой же пленки<sup>8/</sup>, что, возможно, связано с тем, что электронограмма дает результаты с поверхности, а рентгенограмма - по глубине.

## 5. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Серебряная пленка, нанесенная на поликристаллическую медную и монокристаллическую кремниевую подложки, обладает преимущественной ориентацией  $\{110\}$  в отличие от нанесенной на аморфную стеклянную подложку, где преобладает текстура  $\{111\}$ . Кристаллиты мелкие, причем на кремнии они несколько мельче и менее рельефны.

2. Облучение такой пленки низкоэнергетическими ионами аргона в умеренных дозах приводит к усилению текстуры  $\{110\}$ ; зерна кристаллитов на поверхности укрупняются, и как будто появляются области оплавления, более крупные - для пленки на кремнии; границы кристаллитов исчезают.

3. Нанесение пленки на кремниевую подложку с одновременной ионной бомбардировкой приводит к текстуре  $\{111\}$ , в отличие от случая нанесения пленки на аморфную стеклянную подложку, когда получается текстура  $\{110\}$ ; зерна кристаллитов укрупнены особенно сильно для покрытия на меди. Кристаллиты по кремний довольно равномерны.

4. При переходе к облучению пленок ионами азота тоже выявляется текстура  $\{110\}$ ; с увеличением дозы облучения наблюдается сначала выявление текстуры, а потом последовательный переход к поликристаллической и аморфной структуре, причем в случае предварительного облучения ионами аргона

эффект кумулятивен и аддитивен. При больших дозах наблюдается вынос слоя серебра с поверхности образца.

5. Выбирая режим нанесения пленки и облучения, можно получить текстуру пленки  $|110|$  или  $|111|$  без применения термообработки.

6. При облучении титано-ниобиевой пленки, взятой с ВЧ резонатора, выявляется поверхностная текстура  $|100|$  и  $|111|$ . Этот результат несколько расходится с данными рентгеноструктурного анализа по глубине пленки.

7. Выявлено некоторое отличие свойств пленок, нанесенных в одинаковых условиях на медь и кремний, а также свойств этих пленок по сравнению со свойствами пленок, нанесенных в аналогичных условиях на стекло; это, по-видимому, связано с эпитаксиальным влиянием и различной теплопроводностью материала подложек.

8. Результаты облучения пленок, нанесенных на металлические подложки, следует осторожно переносить на пленки, нанесенные на другие подложки - монокристаллические или аморфные.

9. Разработанная методика может оказаться полезной при изучении свойств сверхпроводящих титано-ниобиевых пленок.

10. Для более глубокого изучения происходящих процессов желательно проводить комплексные исследования характеристик одинаковых пленок при разных типах, дозах и энергиях облучающих ионов - оптических, морфологических, рентгеноструктурных, электрографических, химических, рассеивающих и сверхпроводящих<sup>/10/</sup>, что позволит подобрать оптимальные условия для получения пленок и управления их текстурой, а также характеристиками, если это окажется полезным<sup>/8,9/</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Marinov M., Dobrev D. Thin Solid Films, 1977, 12, p.265-268.
2. Добрев Д., Маринов М. Известия по химии БАН, кн. 2, с.334-350, София, 1975.
3. Рангелов Й.М. ОИЯИ, Р17-10560, Дубна, 1977.
4. Van de Voorde. Report CERN 77-03, 1977.
5. Енчевич И., Спасов Б., Тагирова Ф. Конструкция и работы характеристики на пенингов ионен источник-облъчвател, тем. сб. "Ядрена енергия" /в печати/.

6. Dobrev D.D., Marinov M.V. Доклады БАН, 1973, т.26, №2, с.231-234.
7. Маринов М., Добрев Д. Структура тонких серебряных пленок. Тезисы конф. по электр. микроскопии. Прага, 1977.
8. Бух Ю., Балалыкин Н.И. ОИЯИ, 9-8605, Дубна, 1975.
9. Севрюкова Л.М. Доклады VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, октябрь 1978. Изд. ОИЯИ, Дубна, 1979.
10. Бух Ю. и др. ОИЯИ, Р14-10446, Дубна, 1977.
11. Балалыкин Н.И., Муратов Ю.В., Рубин Н.Б. ОИЯИ, Р8-6855, Дубна, 1972.
12. Calder R. et al. Cleaning and Surface Analysis of Stainless steel Ultrahigh Vacuum Chambers by Argon Gas Discharge, report CERN-ISR-VA/77-59, September, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 июля 1979 года.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Заказ 26967 Тираж 465 Уч.-изд. листов 1,25.

Редактор Б.Б. Колесова.

Набор в.С. Рунянцевой, Е.М. Граменицкой.

Издание 1-е, Киев, 1961.

Подписано к печати 14.01.61 г.