ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 4, № 4 (2003) С. 681-685

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 4, № 4 (2003) P. 681-685

УДК 539.21 :537.1; PACS 42.55.-F, 42.60.-V

ISSN 1729-4428

О.Д. Погребняк[1], О.П. Кульментьєва[1,2], А. Марку[3], А. Лебідь[2]

Одержання одно- і двошарових плівок на основі $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ з абеляційної плазми, ініційованої лазерною дією

[1]Сумский інститут модифікації поверхні,
вул. Роменская, 87, корп. М, а/я 163, Суми, 40030, Україна;
тел. (054-2) 21-28-16, факс (380 542) 22-03-38; E-mail: apogrebnjak@simp.sumy.ua
[2]Сумский державний університет,
вул. Р.-Корсакова, 2, а/я 227, Суми, 40030, Україна;
тел.(054-2) 33-90-18, E-mail: opkulm@ukr.net
[3]Інститут атомної фізики, Бухарест, Румунія

Представлено результати осадження плівок високотемпературних надпровідників (ВТНП) на основі $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ з абеляційної плазми, одержуваної при імпульсній лазерній дії на мішень. Плазмовій потік направляється на підкладку за допомогою спеціальних рефлектора і маски. Досліджено кінетику абеляційної плазми. Вивчено морфологію поверхні одержуваних плівок, їхній елементний склад, визначені шорсткість і товщина плівок у залежності від кута відбиття абеляційної плазми. Наведено, що якість отриманих плівок залежить від кута відображення плазми, розташування підкладки і товщини плівки.

Ключові слова: високотемпературні надпровідники, абляція, плазма, лазерній промінь, енергетичні спектри пружного розсіяння, мікроскопія атомних сіл, растрова електронна мікроскопія.

Стаття поступила до редакції 07.09.2003; прийнята до друку 23.10.2003.

I. Вступ

Лазерні технології в останні десятиліття знаходять усе більш широке застосування в промисловості. Прошивання отворів у рубінових каменях, алмазних волоках, діафрагмах і філерах, різання листового металу, розкрій тканин, поділ тендітних матеріалів, припасування номіналів електронних приладів, зварювання різних матеріалів, балансування обертових мас, зміцнення металів і сплавів, легування плівок на металевих і напівпровідникових підкладках, відпал дефектів у іонно-імплантованих напівпровідниках, поверхневе легування – це далеко не повний перелік робіт, які виконуються за допомогою лазерного випромінювання [1-3]. Великий інтерес представляє застосування імпульсних лазерів для одержання плівок і покрить. У стадії активного розвитку знаходиться одержання вже відомих і синтез нових масивних і плівкових високотемпературних надпровідникових (ВТНП) матеріалів [4-6]. Параметри надпровідникових плівок досить чутливі до умов конденсації. Так, при температурах підкладки, близьких до температури рідкого гелію, одержують метастабільні аморфні конденсати і нові надпровідникові модифікації металів. Конденсацією при низькому тиску одержують порошкові плівки, в окисному середовищі або при випаруванні з діелектриками, напівпровідниками і металами – гранульовані плівки, у яких гранули зв'язані між собою слабкими тунельними або містковими контактами.

Одним зі способів одержання плівок ВТНП матеріалів є застосування лазерів. Однак при стандартному лазерному осадженні існують такі проблеми:

1) висока швидкість конденсації і як наслідок - великі внутрішні напруження, що приводять до погіршення властивостей через деформацію, відшарування плівок, підвищення ступеня їхньої дефектності;

2) значна кількість крапель, розмір яких може досягати декількох мікронів.

Метою цієї роботи є вивчення можливостей процесу одержання плівок ВТНП матеріалу з абеляційної плазми, ініційованої імпульсним лазерним впливом.

II. Експеримент

На рис. 1 представлено схема експериментальної установки для осадження плівок з абляційної плазми, отриманої при лазерної дії [7]. В установці застосований твердотільний лазер Nd:АІГ з

модульованою добротністю і довжиною хвилі 1,064 мкм, що працює в імпульсному режимі. Плазма виходила при наступних режимах лазерного пучка: енергія пучка складала 200 мДж, щільність потоку енергії – 2,5 Дж/см^2, частота проходження імпульсів 10 Гц, тривалість імпульсу 7 нс. Мішень була виконана з ВТНП матеріалу на основі Y-Ba-Cu-O. Підкладкою слугували пластинки MgO, причому підкладки не підігрівалися. Осадження плівок із плазми проводилося в окисній атмосфері кисню при тиску 25 Па.

Тримачі для мішені і підкладки були розташовані під прямим кутом один до одного. Підкладка з мішенню оберталася. Пучок лазера направлявся на мішень, при цьому лазерне випромінювання поглинається поверхнею мішені, тонкий поверхневий шар матеріалу плавиться і переходить у паро-плазмовий стан. Після чого відбувається абляція, тобто виніс (викид) з поверхні матеріалу в рідкому і паро-плазмовому стані. Абеляційна плазма переміщається від поверхні мішені й осаджується на підкладці.

Особливістю даної установки є наявність у ній спеціального відбивача, встановленого під кутом 45° до мішені і підкладки, і маски, розташованої паралельно мішені і перпендикулярно підкладці. За допомогою цих елементів потік абеляційної плазми фокусується на підкладку.

На рис. 2 показані тимчасові фоторозгорнення плазмового потоку при лазерній дії, зняті за допомогою високошвидкісної камери з наносекундним розрізненням. Видно, що через 4 мкс велика частина плазми сфокусована на відбивачі, а в момент часу t ≈ 7,5 мкс весь плазмовий потік перемістився до підкладки.

Елементний склад плівок визначався методом пружного резонансу протонів з енергією пучка 1,735-1,77 МеВ (область енергії резонансу вуглецю) і 3,05-3,112 МеВ (область енергії резонансу кисню). Як приклад на рис. 3 приведений один з отриманих енергетичних спектрів.

Отримані таким чином плівки досліджувалися методом растрової електронної мікроскопії – вивчалася морфологія поверхні. Шорсткість плівок визначалася за допомогою атомно-силового мікроскопа. Дослідження показали, що всі ці величини залежать від місця розташування підкладки на власнику, і, отже, залежать від кута відбиття плазмового потоку від рефлектора. На рис. 4 приведені мікрофотографії поверхні зразків,

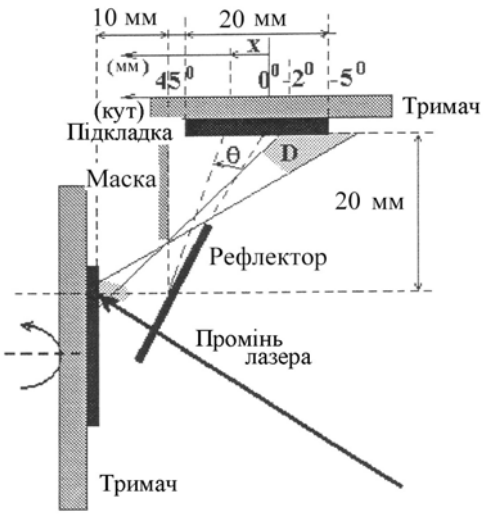


Рис.1. Схема експериментальної установки.

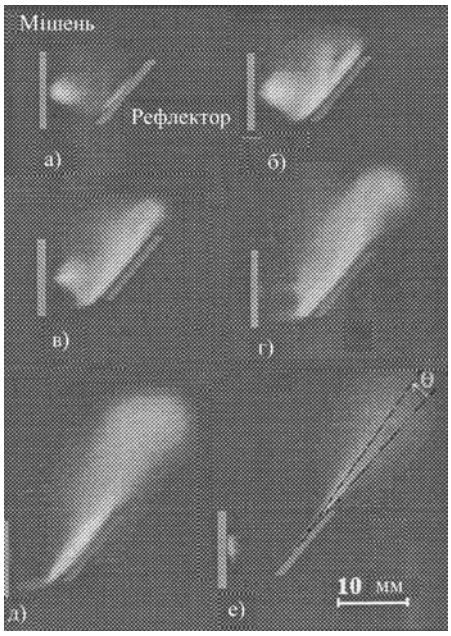


Рис.2. Зображення плазменного потоку в моменти часу t ~ 4 мкс (а) і ~ 7,5 мкс (б).

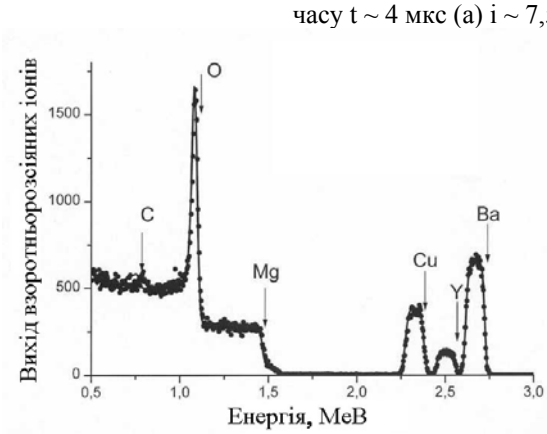
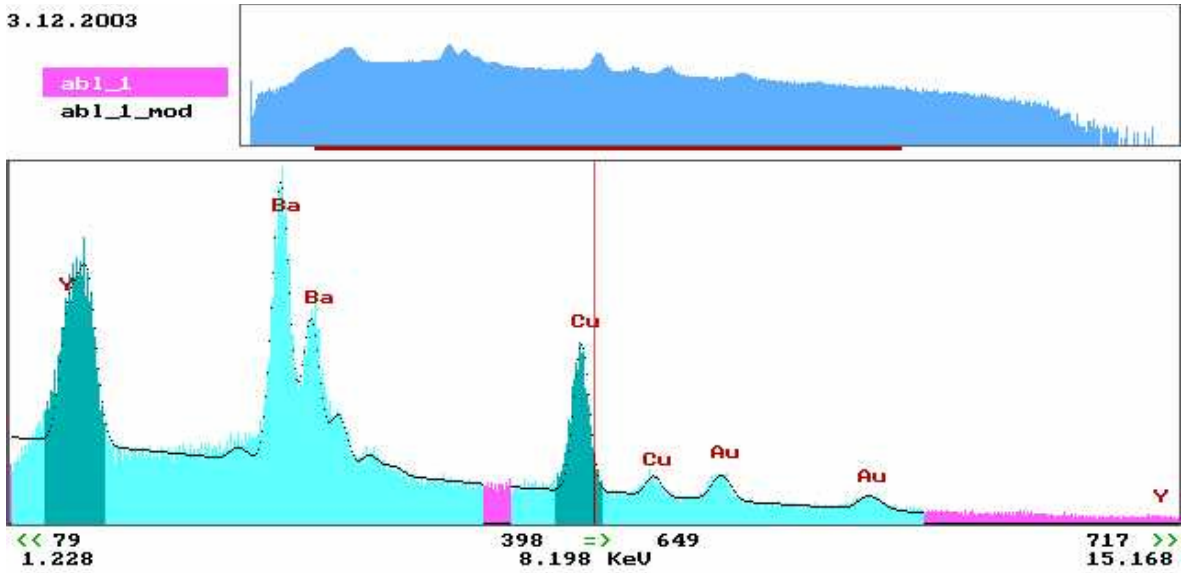
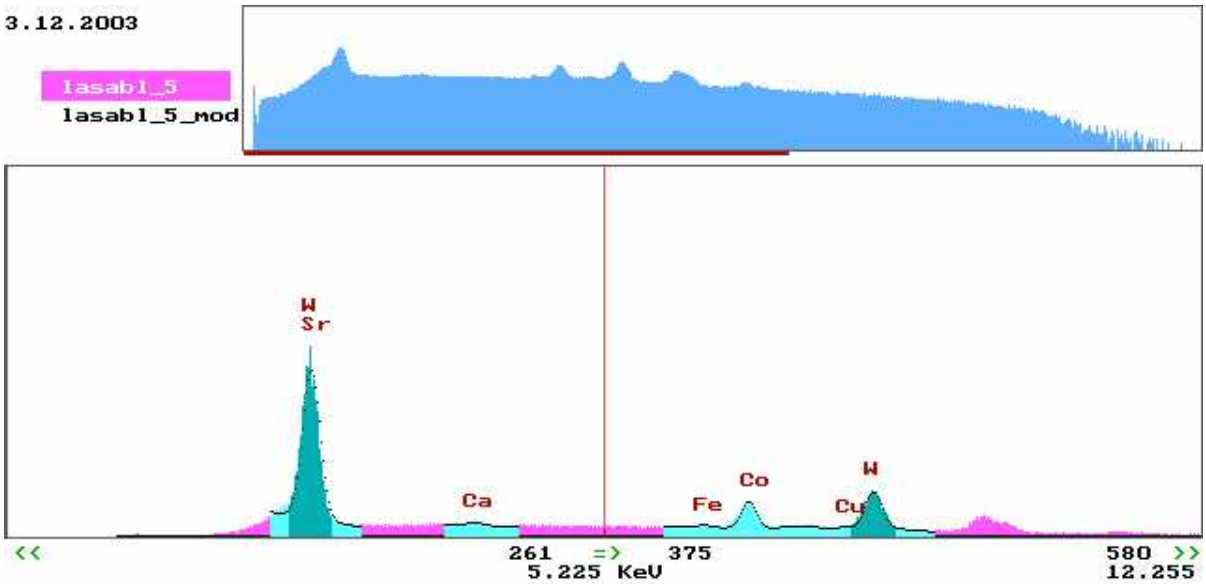


Рис. 3. Енергетичний спектр плівки $YBa_2Cu_3O_{7-X}$, на підкладці з Mg.



а)



б)

в)

Рис. 4. Зміни морфології поверхні плівки в залежності від кута відображення θ, отриманої поза (а) і усередині (б) області D; схема області D (в).

розташованих на підкладкотримачі поза (рис. 4,а) і всередині (рис. 4,б) області D, показаної на рис. 4,в.

На рис. 5 приведене зображення поверхні зразка, отримане за допомогою атомно-силового мікроскопа. З рисунків видно, що плівки в зоні D мають грубо дисперсну структуру і поза цією зоною – шорсткість поверхні мінімальна.

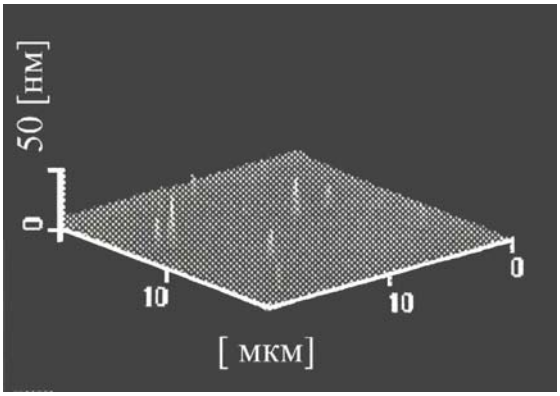


Рис. 5. Зображення поверхні плівки, отримане за допомогою атомно-силового мікроскопа.

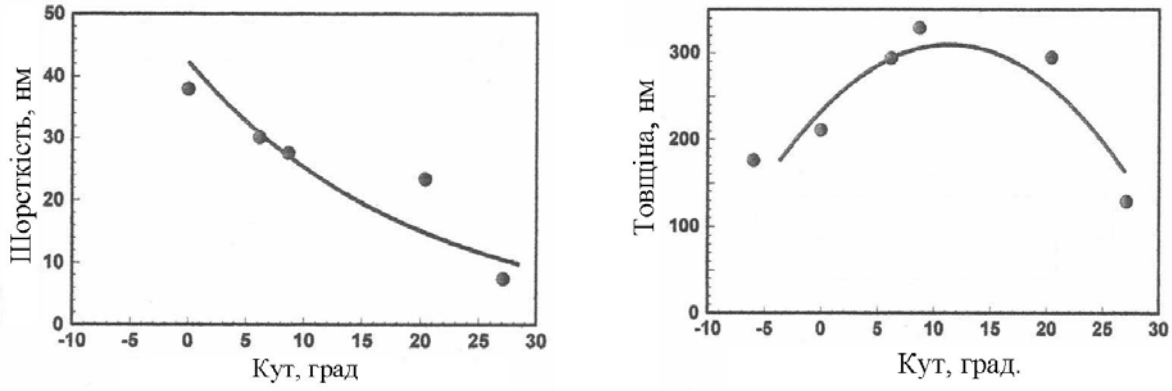


Рис. 6. Залежності від кута відбиття плазмового потоку шорсткості поверхні (а) і товщини (б) плівок $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.

На рис. 6 представлені кількісні залежності шорсткості і товщини плівок від кута θ розльоту плазми. Видно, що шорсткість зменшується при збільшенні θ, а товщина плівок має максимум при $\theta \approx 7 - 20^{\circ}$.

III. Висновки

1. Спосіб осадження абляційної плазми зі сфокусованого потоку з застосуванням плазмового відбивача дозволяє одержувати плівки поліпшеної якості. Таким чином було отримано одношарові плівки на основі $YBa_2Cu_3O_{7-X}$, та двошарові плівки $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.

2. При такому способі отримання плівок швидкість осадження зменшилася в 2,5-5 разів (з 4 нм/імп. до 0,8-1,6 ім/имп.).

3. Отримані плівки $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ мають меншу шорсткість – 4-25 нм у порівнянні з 300 нм при стандартному одержанні, і містять незначну кількість краплинних фракцій (максимальний діаметр краплі зменшився в 15 разів з 6 мкм при стандартному одержанні до 400 нм при нашому способі).

Погребняк О.Д. – доктор фізико-математичних наук, професор, директор СІМП;
Кульментьєва О.П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної фізики.

[1] Под общ. ред. В.С. Коваленко. *Упрочнение деталей лучом лазера*. Техніка, К., 138 с. (1981).
[2] Под ред. Дж.М. Поута и др. *Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками*. Машиностроение, М., 424 с. (1987).
[3] Ю.А. Быковский, В.Н. Неволин, В.Ю. Фоминский. *Ионная и лазерная имплантация металлических материалов*. Энергоатомиздат, М., 240 с. (1991).
[4] И.М. Дмитренко. *В мире сверхпроводимости*. Наук. думка, К. (1981.)
[5] *Высокотемпературные сверхпроводники* / Под ред. Д. Нельсона и др. Мир, М., (1988).
[6] Под ред. Д.М. Гинзберга. *Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников*. Наука, М., (1990).

[7] А.Д. Погребняк, О.П. Кульментьева, А. Марку и др. Получение пленок $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ из абляционной плазмы, инициированной лазерным воздействием // В кн. *5-я Международная конференция "Взаимодействие излучений с твердым телом",* Минск, сс. 73-75 (2003).

A.D. Pogrebnjak[1], O.P. Kul'ment'eva[1,2], A. Marcu[3], A. Lebed[2]

Production Mono- and Two-Layers Films on the Base of $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ Using Laser Plasma Ablation

[1]Sumy institute for modification of surface,
87, Romenskaya Str., bild. M, PO box 163, Sumy, 40030, Ukraine;
ph. (054-2) 21-28-16, fax (380 542) 22-03-38; E-mail: apogrebnjak@simp.sumy.ua
[2]Sumy State University, 2, R.-Korsakov Str., PO box 227, Sumy, 40030, Ukraine; ph. (054-2) 33-90-18

The results of deposition films of high-temperature superconducters on a base $YBa_2Cu_3O_{7-X}$ from ablation plasma by the pulse laser influence, which directed with help special reflector and a mask on the substrate are submitted. It's shown, that quality of films the arrangements of a substrate and thickness of a film depend on a corner of plasma reflection. The surface morphology of films is investigated and are determined the roughness and thickness of the film depending on a corner of reflection ablation plasma.