

С.Р. АРУТЮНЯН, В.Е. КАРАПЕТЯН, Г.Р. БАДАЛЯН, А.С. КУЗАНЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК YBCO НА ПОДЛОЖКИ LiNbO₃

С целью получения многослойных структур YBCO/LiNbO₃, для изготовления ПАВ фильтров со сверхпроводящими контактами, исследован процесс взаимодействия пленок YBCO с LiNbO₃ подложкой. Для лазерного напыления пленок YBCO использовались мишени состава $Y_1Ba_2Cu_nO_y$ ($n=3...5$). Данные рентгенофазового анализа и электронной микроскопии показывают, что при температурах выше 600°C, необходимых для формирования структуры YBCO при лазерном напылении, происходит взаимодействие пленки с подложкой. Исследование оптических спектров подложек LiNbO₃, очищенных от пленок, свидетельствует о диффузии атомов Cu из пленки в подложку. Предложены другие пути получения многослойных структур YBCO/LiNbO₃ для изготовления ПАВ фильтров.

Ключевые слова: сверхпроводящие контакты, многослойные структуры, ПАВ фильтры.

1. Введение. Устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) активно разрабатываются уже более 30 лет. Это широкий класс устройств, включающий линии задержки, полосовые фильтры промежуточных частот, резонаторы и резонаторные фильтры, согласованные фильтры, фильтры сжатия импульсов и т.д. Особенности ПАВ устройств являются: малая скорость и затухание поверхностных волн, интегральность исполнения, доступность тракта ПАВ, позволяющая эффективно управлять характеристиками с помощью внешних воздействий [1]. В устройствах на ПАВ, использующих пьезоэлектрические подложки, для возбуждения и приема акустических волн чаще всего применяется встречно-штыревой или электродный преобразователь (ВШП). Эффективность ПАВ преобразователей обратно пропорциональна сопротивлению ВШП, следовательно, сверхпроводящие электроды должны значительно повысить этот параметр.

2. Методика эксперимента. В качестве источника лазерного излучения был использован YAG:Nd³⁺ лазер с модулированной добротностью (пассивный затвор LiF), длиной волны 1,06 мкм, энергией и длительностью импульса 0,1 Дж и 20 нс соответственно. Частота следования импульсов составляла 15 Гц.

Пленки напылялись на подложки LiNbO₃ YZ среза размерами 8-12 мм² из мишеней состава $Y_1Ba_2Cu_nO_y$ ($n=3...5$). Скорость вращения мишени составляла 37 об/мин. Расстояние между мишенью и подложкой было 40 мм. Давление в камере при напылении поддерживалось на уровне 0,2 Тор.

Полученные пленки исследовались методами рентгеновской дифракции (ДРОН-4) и электронной микроскопии (BS-301 Tesla), а взаимодействие напыленных пленок и подложки LiNbO₃ - методом оптической спектроскопии (Specord M40).

3. Результаты и обсуждение. Купратные сверхпроводники, в частности $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-6}$ (YBCO), подходят для решения задачи создания ПАВ фильтров со сверхпроводящими контактами, так как обладают высокой критической температурой сверхпроводящего перехода, кристаллографическими и химическими свойствами, схожими со свойствами пьезоэлектрических подложек, например $LiNbO_3$, используемых в ПАВ устройствах. Они также позволяют управлять параметрами устройства, изменяя свое сопротивление под воздействием тока и/или магнитного поля. Именно поэтому, практически с момента открытия явления высокотемпературной сверхпроводимости, проводились исследования возможности изготовления ПАВ фильтров с ВТСП контактами [2-5]. В частности, в [3] показано резкое возрастание фактора эффективности η при температурах ниже сверхпроводящего перехода ВШП. Фактор эффективности возбуждения акустических волн определяется как

$$\eta = 10 \log[P_a / (P_a + P_c)], \quad (1)$$

где P_a – мощность, излучаемая акустически; P_c – мощность, теряемая из-за потерь в ВШП, которая задается выражением

$$P_c \sim [(\Delta f \cdot T)(4\pi\rho C_s V_p)/k^2 + 1]^2, \quad (2)$$

Δf – полоса пропускания; T – время прохождения акустической волны; ρ – сопротивление ВШП; C_s – межэлектродная емкость на единицу длины; V_p – скорость звука; k – коэффициент электромеханической связи.

Очевидно, что, при прочих равных условиях, чем меньше будет ρ , тем больше будет значение η . В [3] изменение η при температуре сверхпроводящего перехода ВШП составило 12 дБ для линии задержки с центральной частотой 50 МГц. Однако в современных средствах связи используются более высокие частоты ($\sim$ ГГц). Для этих частот нужны ВШП со значительно меньшими характерными размерами, следовательно, YBCO пленки с более совершенной морфологией поверхности. Определим факторы, влияющие на морфологию и сверхпроводящие свойства YBCO пленок на $LiNbO_3$ подложках.

Пленки YBCO напылялись на подложки $LiNbO_3$ при температуре 600 °С, затем подвергались дополнительной термообработке на воздухе при температурах 600...850 °С продолжительностью до 60 мин. На рис.1 приведена рентгеновская дифрактограмма пленки YBCO толщиной 400 нм, подвергнутой термообработке при 750 °С в течение 20 мин. Из рисунка видно, что пленка – текстурированная, с осью с, перпендикулярной плоскости подложки. Этим она схожа с пленками YBCO, напыленными на обычно используемые подложки $SrTiO_3$, MgO или YSZ. Однако данные электронной микроскопии свидетельствуют, что пленки на $LiNbO_3$ не эпитаксиальные, не монокристаллические, а состоят из маленьких кристаллитов, ориентированных в одном и том же направлении. Обусловленная этим неоднородность поверхности пленки возрастает с увеличением температуры термообработки. Одновременно с увеличением температуры и времени термообработки увеличивается удельное сопротивление пленок при комнатной температуре, а температурная зависимость сопротивления меняет свой характер с металлического на полупроводниковый.

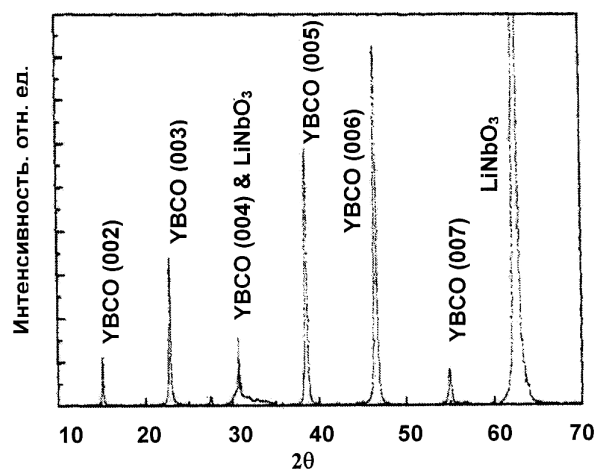


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма YBCO пленки толщиной 400 нм, напыленной на подложку LiNbO₃ YZ-среза

Эти данные свидетельствуют о взаимодействии YBCO пленки с подложкой LiNbO₃. Для выяснения характера этого взаимодействия были исследованы спектры оптического поглощения подложек, с которых слабым раствором HNO₃ были смыты пленки YBCO (рис. 2).

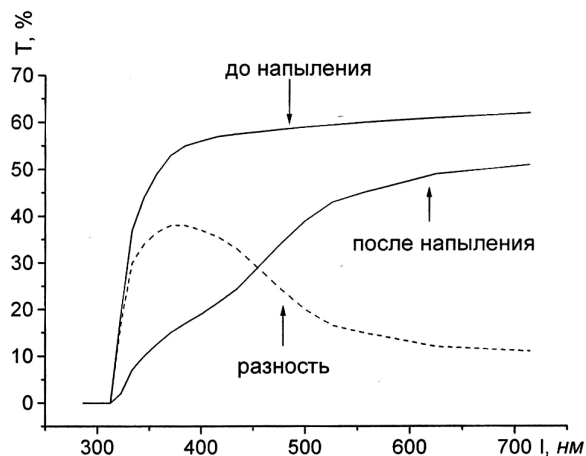


Рис. 2. Оптические спектры подложки LiNbO₃ толщиной 1 мм до и после напыления пленки YBCO

Как видно из рисунка, в спектре подложки, на которую было проведено напыление YBCO, появляется полоса поглощения с максимумом на 380 нм, свойственная кристаллам LiNbO₃ с примесью ионов Cu [6]. Данное обстоятельство позволяет утверждать, что при температурах выше 700 °C

происходит ощутимая диффузия Cu из пленки в подложку. Одновременно, по данным электронной микроскопии, на поверхности подложки образуются частички субмикронных размеров, что делает шероховатой границу раздела и понижает сверхпроводящие характеристики пленки. Вышеперечисленные факты ограничивают возможность использования гетероструктур YBCO/LiNbO₃ в ПАВ устройствах.

Одним из возможных путей решения задачи получения эпитаксиальных пленок YBCO на подложках LiNbO₃ является напыление буферного слоя [7]. Однако буферные слои толщиной ~ 100 нм значительно увеличат потери в ПАВ устройствах, сведя на нет выигрыш от применения сверхпроводящих ВШП. Нами предлагаются два варианта реализации ПАВ устройств со сверхпроводящими ВШП. Первой возможностью решения задачи является изготовление сверхпроводящих ВШП на обычных для YBCO подложках с последующим нанесением сверху пленки LiNbO₃ золь-гель методом при значительно более низких температурах (~ 400°C), при которых не будет происходить взаимодействие пленок YBCO и LiNbO₃. Конфигурация предлагаемого ПАВ устройства приведена на рис.3.

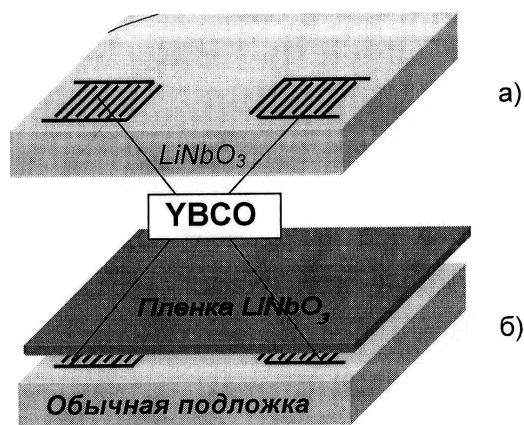


Рис.3. Конфигурация обычных (а) и предлагаемых (б) ПАВ фильтров со сверхпроводящими ВШП

Возможность использования эпитаксиальных пленок LiNbO₃ в ПАВ устройствах продемонстрирована в [8]. Второй возможностью изготовления гетероструктур YBCO/пьезоэлектрик является использование иных, чем LiNbO₃, пьезоэлектрических материалов, в частности, обладающих более высоким, чем кварц, коэффициентом электромеханической связи. Наиболее перспективными, на наш взгляд, являются берлинит (AlPO₄), лангасит (La₃Ga₅SiO₁₄), ланганит (La₃Ga_{5.5}Nb_{0.5}O₁₄) и фосфат галлия (GaPO₄).

Работа поддержана Министерством образования и науки Армении и грантом NATO Sfp No.974082.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984. – 305с.
2. Жгун С.А., Львов М.Н. Сверхпроводимость: физика, химия техника. – 1991.-Т.4, №4.-С.825.
3. Fredriksen H., Ritums D., Wu N.J., Li X.Y., et al. Appl. Phys. Letters. – 1994.-V.64, №22.-P.3033.
4. Wu N.J., Li X.Y., Li J., Lin H., Fredriksen H. et al. J. Mater. Res. – 1995.-V.10, №12.-P.3009.
5. Gong Z.H., Ronnekleiv A., Grepstad J.K. Physica C. – 1997.-V.282-287, Pt.4. - P.2521.
6. Kurz H., Kratzig E., Keune W., Engelman H. et al. Appl. Phys. – 1977.-12.-P.355.
7. Hashiguchi S., Min E., Sakuta K., Kobayashi T. Jpn. J. Appl. Phys. – 1992.-31.-P.780.
8. Shibata Y., Kaya K., Akashi K. Appl. Phys. Lett. – 1992.-V.61, №8.-P.1000.

Ин-т физ. исслед. НАН РА. Материал поступил в редакцию 12.03.2003

Ս.Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ.Ե. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Գ.Ր. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Ա.Ս. ԿՈՒԶԱՆՅԱՆ

LiNbO₃ ՏԱԿԴԻՐԻ ՎՐԱ YBCO ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՓՈՇԵՆՍԵՑՄԱՆ ՈՐՈՇ ԱՌԱՋՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Գերհաղորդիչ հպակներով ՄԱԱ ֆիլտրերի պատրաստման համար YBCO/LiNbO₃ բազմաշերտ կառուցվածքներ ստանալու նպատակով ուսումնասիրվել է YBCO թաղանթների և LiNbO₃ տակդիրների փոխազդեցության գործընթացը: YBCO թաղանթների լազերային փոշենստեցման համար կիրառվել են Y₁Ba₂Cu_nO_y (n=3...5) բաղադրության թիրախներ: Ռենտգենաֆազային անալիզի և էլեկտրոնային միկրոսկոպիայի տվյալները ցույց են տալիս, որ 600 °C- ից բարձր ջերմաստիճաններում, որն անհրաժեշտ է լազերային փոշենստեցման ժամանակ YBCO կառուցվածքի ձևավորման համար, տեղի է ունենում թաղանթի և տակդիրի փոխազդեցություն: Թաղանթներից մաքրված LiNbO₃ տակդիրների օպտիկական սպեկտրների ուսումնասիրումը ցույց է տալիս, որ տեղի է ունենում պղնձի ատոմների դիֆուզիա՝ թաղանթից դեպի տակդիր: ՄԱԱ ֆիլտրերի պատրաստման համար առաջարկում են YBCO/LiNbO₃ բազմաշերտ կառուցվածքների ստացման այլ ուղիներ:

Առանցքային բառեր. գերհաղորդիչ հպակներ, բազմաշերտ կառուցվածքներ, ՄԱԱ ֆիլտրեր:

S.R. HARUTYUNYAN, V.E. KARAPETYAN, G.R. BADALYAN, A.S. KUZANYAN

SOME FEATURES OF LASER DEPOSITION OF YBCO FILMS ON LiNbO₃ SUBSTRATES

To study multilayer YBCO/LiNbO₃ structures for constructing filters with conductive contacts, the process of YBCO film interaction with LiNbO₃ substrates is investigated. The targets with Y₁Ba₂Cu_nO_y (n=3...5) composition are used for laser deposition of YBCO films. The data of the X-ray analysis of microscopy show that at the temperatures higher than 600 °C necessary for forming YBCO structures an interaction of the film with the substrate occurs during laser deposition. The investigation of optical spectra of LiNbO₃ substrates cleaned from films shows the diffusion of Cu atoms from films into the substrate. Other ways for obtaining multilayer YBCO/LiNbO₃ structures for producing SAW filters are proposed.

Keywords: superconducting contacts, multilayer structures, surface acoustic wave filters.