ФАНО России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ им. В.А.КОТЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)
Моховая ул., д. 11, корп. 7, Москва, 125009
Тел. +7(495)629-35-74, факс +7(495)629-36-78
ire@cplire.ru, http://www.cplire.ru
ОКПО 02699085, ОГРН 1027700183708
ИНН/КПП 7703053425/770301001

14.11.2016 № 11210-6215-741

123182, г. Москва,
пл. Академика Курчатова, д.1

Ученому секретарю диссертационного
Совета Д520.009.06
А.С.Колоколу

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Приходько Кирилла Евгеньевича, на тему «Разработка методов контролируемого преобразования атомного состава и свойств веществ под действием ионного облучения для создания функциональных наноустройств различного назначения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

В настоящее время в приборах и устройствах нашли широкое применения различные высокотемпературные и низкотемпературные сверхпроводящие материалы. Области использования сверхпроводящих элементов простирается от силовых агрегатов, создающих большие магнитные поля в термоядерных установках и ускорителях частиц до миниатюрных высокочувствительных медицинских датчиков, реагирующих на магнитное поле, генерируемое направленным потоком эритроцитов. Устройства, изготовленные на основе тонкопленочных сверхпроводников, используются в системах радиолокации и космической связи; системах высокочувствительной регистрации электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн от видимого света до длины волны в несколько микрометров; в устройствах квантовой криптографии и т.п.

Пленки нитрида ниобия толщиной (4-5) нм обладают рядом существенных преимуществ перед другими материалами для практических применений в связи с высокой температурой сверхпроводящего перехода (12-14 К), существенной плотностью критического тока (5-10) МА/см^2 и его технологичностью, обусловленной простой реализацией методов получения пленок по сравнению с другими аналогичными материалами.

Традиционные методы изготовления устройств на основе тонких пленок нитрида ниобия предполагают их структурирование на подложке посредством травления через литографическую маску, а также нанесение металлических контактов методом взрывной литографии. Другие необходимые элементы

схем приходится создавать отдельно, при этом возникают трудности, обусловленные возникновением интерфейсов между внедряемыми элементами и сверхпроводящими линиями основной схемы.

В связи с этим, весьма оригинальным и полезным представляется использованный в работе метод модификации состава тонкопленочного нитрида ниобия под действием облучения ионными пучками для формирования резистивных и емкостных элементов непосредственно из исходного материала в создаваемых сверхпроводящих структурах на одном чипе. Такой подход позволяет изготавливать интегрированные сверхпроводящие устройства, содержащие различные элементы (резистивные, емкостные и индуктивные) в ходе единого технологического подхода с использованием одной установки. При таком интегрированном методе создания резистивных и емкостных элементов переходные зоны между сверхпроводником и металлом (в случае сопротивления) или диэлектриком (в случае емкости) формируются за счет плавного изменения концентрации кислорода и азота в области под границей маски, защищающей сверхпроводящий материал от воздействия ионного пучка при создании соответствующего элемента. Поэтому, предложенные в работе Приходько К.Е. методы модификации состава тонких сверхпроводящих пленок нитрида ниобия под действием ионного облучения для формирования интегрированных криогенных резистивных и емкостных элементов на сегодняшний день являются *актуальными* и *востребованными* в области развития отечественных подходов решения задач создания криоэлектронных устройств. Такой подход является *новым* и развивается, в основном, в НИЦ «Курчатовский институт», что обеспечивает российский приоритет для данных разработок, подтвержденный несколькими патентами, полученными в последние годы с участием Приходько К.Е.

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов и выводов диссертационной работы обусловлены большим числом реализованных превращений различных соединений и чистых веществ под действием облучения с применением разработанных методов ионного облучения, использованием современных аналитических методов исследования микроструктуры и свойств, включая просвечивающую электронную микроскопию, спектроскопию энергетических потерь электронов, рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию и др.

Автореферат диссертационной работы Приходько К.Е. качественно оформлен в соответствии с требованиями ВАК, написан грамотным русским языком. Основные результаты, полученные соискателем, опубликованы в тридцати публикациях в ведущих научных журналах из перечня ВАК, получены 12 патентов на изобретения по практическому использованию разработанных методов, неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях.

В качестве замечания по автореферату следует отметить, что при создании криогенного резистора номинала 60 Ом (см. рис.13 на стр.39) его поперечный размер составляет ~6.4 мкм. Из текста автореферата не ясно, есть ли возможность, в рамках разработанных методов создания металлического материала из сверхпроводника, уменьшить поперечный размер резистора для увеличения интегральной плотности расположения элементов?

Указанное замечание не снижает ценность полученных результатов. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней согласно п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства РФ (№842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор Приходько Кирилл Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01–«Приборы и методы экспериментальной физики».

Ст.н.с., к.т.н. Шахунов Валерий Анатольевич

Служебный телефон: 8(495) 629-36-56

e-mail: *val1621@yandex.ru*

Подпись *Шахунова Валерия Анатольевича* заверяю:

Ученый секретарь ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН *Чусов Игорь Иванович.*

14 ноября 2016 г.