

УТВЕРЖДАЮ



Директор Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова

В.А.Бедняков

«24» _____ 2018 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-технического совета

Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова

Объединённого института ядерных исследований

Диссертация «Сверхпроводящие резонаторы для электронных линаков» выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова. В период подготовки диссертации Азарян Николай Сергеевич работал в Лаборатории в должности научного сотрудника Научно-экспериментального отдела множественных адронных процессов.

В 2007 г. Н.С. Азарян окончил Физико-математический факультет Костромского государственного университета по специальности «физическое материаловедение». В ЛЯП работает с 2006 г. В 2013 г. зачислен в соискатели на соискание учёной степени кандидата наук по специальности 01.04.20 – «физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Н.С. Азаряна посвящена разработке и созданию сверхпроводящих резонаторов с применением технологии гидроударной штамповки ниобиевых полуячеек. Работа проводилась в соответствии с проблемно-тематическим планом ОИЯИ, тема 02-0-1067-2007/2015 и тема 02-0-1127-2016/2018. Один из основных этапов этих тем – проект по разработке собственной технологии изготовления сверхпроводящих резонаторов из ниобия на частоту 1.3 ГГц, выполненный в ЛЯП.

Актуальность:

Ускорители частиц на базе сверхпроводящих ускоряющих структур находят широкое применение во многих областях современной науки. Прежде всего – это экспериментальная физика элементарных частиц, где ускорители служат основным инструментом исследований.

Ярким примером выдающегося достижения современной физики является недавнее (2012 г.) обнаружение бозона Хиггса на Большом Адронном Коллайдере LHC на установках ATLAS и CMS. Для дальнейших экспериментов в рамках Стандартной Модели, поиска новых

явлений и частиц за её пределами необходимо создание нового инструмента – электрон-позитронного коллайдера с энергией в центре масс от 500 ГэВ.

В сравнении с адронной машиной, такой как LHC, лептонный коллайдер обеспечит более оптимальное сочетание достаточной статистики с приемлемой систематикой и более благоприятным отношением эффект/фон. На сегодняшний день лидирующим проектом в этом направлении является Международный Линейный Коллайдер ILC, в котором ускоряющими структурами служат сверхпроводящие резонаторы на частоту 1,3 ГГц. В 2004 г. ОИЯИ присоединился к проекту ILC и предложил размещение коллайдера в Московской области в окрестностях г.Дубна.

Изготовление сверхпроводящих резонаторов – это комплексный высокотехнологичный процесс, в котором задействованы последние достижения в криогенике, вакуумной технике, химии, материаловедении, СВЧ-технике. На сегодняшний день в странах-участницах ОИЯИ отсутствуют серийные технологии изготовления сверхпроводящих резонаторов, и в первую очередь в нашей работе ставилась задача освоения зарекомендовавших себя технологий с целью обеспечения проекта ILC дополнительным производителем резонаторов в ОИЯИ и стран-участниц.

Научная новизна в представленной диссертации:

а) Предложен и реализован принципиально новый метод формирования ниобиевых полуячеек гидроударной штамповкой, ранее не применявшийся для изготовления СВЧ-резонаторов. Впервые экспериментально определена предельная степень вытяжки при гидроударной штамповке ниобия высокой чистоты. Созданная оригинальная технология удовлетворяет требованиям производства сверхпроводящих ниобиевых резонаторов.

б) Разработано и запатентовано уникальное устройство связи, обеспечивающее эффективное возбуждение резонатора и оптимальную передачу в резонатор СВЧ мощности.

Практическая ценность работы:

Впервые в научных центрах стран-участниц ОИЯИ реализован комплекс технологических процедур изготовления сверхпроводящих резонаторов из высокочистого ниобия для ускорителей заряженных частиц. Испытания опытной серии сверхпроводящих резонаторов показали: их качество удовлетворяет современным требованиям и при внедрении в промышленное производство отечественные резонаторы могут быть конкурентоспособными по сравнению с зарубежными аналогами. Опыт создания и исследования ниобиевых резонаторов нашёл продолжение в ОИЯИ в проекте протонного инжектора ускорительного комплекса НИКА.

Научно-технический совет ЛЯП ОИЯИ отмечает следующие результаты диссертационной работы, в получение которых Н.С. Азарян внёс определяющий вклад:

Проведены теоретические расчёты по оптимизации геометрии резонатора, по результатам которых при определяющем участии автора создано Техническое задание на изготовление.

Экспериментально исследованы свойства ниобия разных производителей. Выполнена серия экспериментов по химическому травлению ниобия для отработки режимов химической очистки материал.

Спроектирована специализированная технологическая оснастка для ключевых этапов производства деталей резонаторов, отработаны режимы электронно-лучевой сварки резонатора. Впервые получена диаграмма штампуемости особоистого ниобия для метода гидроударной штамповки.

Разработано и запатентовано устройство связи для СВЧ-испытаний резонаторов; выбраны и реализованы методики СВЧ-измерений, созданы экспериментальные стенды и проведены испытания готовых резонаторов.

Личное участие автора в работах, составляющих основу диссертации, является определяющим. При его непосредственном участии выполнено научное планирование всех этапов НИОКР, обеспечившее создание первой опытной серии сверхпроводящих резонаторов из ниобия на частоту 1.3 ГГц. Подавляющее число публикаций и докладов по теме диссертации подготовлены и представлены лично автором.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается использованием аттестованных измерительных средств и апробированных методик, а также хорошей воспроизводимостью результатов. Разработанные и созданные стенды для проведения СВЧ-испытаний резонаторов, а также применённые методики измерений сперва были отработаны на готовом одноячеечном Nb-резонаторе, полученном в рамках международного сотрудничества по программе ILC из Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (США) – этот резонатор был принят в качестве эталонного образца.

При выполнении работы получен патент, основные результаты опубликованы в пяти рецензируемых сборника. Всего результаты работы представлены в 16 научных публикациях, и в 12 докладах, в том числе на международных конференциях. Подавляющее число публикаций и докладов по теме диссертации подготовлены и представлены лично автором.

Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в работах:

1) Азарян Н.С., Будагов Ю.А., Ширков Г.Д., Карпович В.А., Родионова В.Н. и и др., «Устройство связи для цилиндрического резонатора СВЧ». Республика Беларусь Патент BY 9583 U 2013.10.03, 13 Март 2013.

2) Азарян Н.С., Будагов Ю.А., Кураев А.А., Ширков Г.Д. и и др., «Расчет одноячеечного сверхпроводящего ниобиевого резонатора для ускорителя электронов и позитронов», Письма в ЭЧАЯ, т. 9, № 2, с. 247-268, 2012.

- 3) Азарян Н.С., Будагов Ю.А., Кураев А.А., Ширков Г.Д. и др., «Измерение ультравысокой собственной добротности путём возбуждения сверхпроводящего резонатора электронным потоком», Письма в ЭЧАЯ, т. 10, № 7, с. 1282-1291, 2013.
- 4) Demyanov S.E., Pobol I.L., Shirkov G.D., Budagov Yu.A., Azaryan N.S. и et al., «Superconducting properties of ultra-pure niobium welded joints», Low Temperature Physics, т. 41, № 7, pp. 522-527, 2015.
- 5) Азарян Н.С., Ширков Г.Д., Журавский А.Ю., Петраковский В.С. и Батурицкий М.А., «Изготовление деталей сверхпроводящих резонаторов из ниобия методом гидроударной штамповки», Письма в ЭЧАЯ, т. 13, № 2, с. 345-353, 2016.
- 6) Azaryan N.S., Budagov Yu.A., Karpovich V.A., Pobol I.L., Rodionova V.N., Shirkov G.D. и et al., «Measurement of Microwave Parameters of a Superconducting Niobium Cavity», Journal of Engineering Physics and Thermophysics, V. 90, № 1, pp. 242-249, 2017.
- 7) Azaryan N.S. и et al., «Superconducting niobium cavity for ILC accelerator», Труды XVI научной конференции молодых учёных и специалистов ОИЯИ, pp. 79-82, 2012.
- 8) Azaryan N.S. и et al., «Creation and testing of the stands for RF measurements of niobium SC cavities at room temperature and at the liquid helium temperature», Труды XVII научной конференции молодых учёных и специалистов ОИЯИ, pp. 106-110, 2013.
- 9) Азарян Н.С., Юревич С.В. и др., «Исследование процесса химического травления ниобия при изготовлении СВЧ резонаторов», Труды XVII научной конференции молодых учёных и специалистов ОИЯИ, pp. 116-119, 2013.
- 10) Юревич С.В., Азарян Н.С. и др., «Исследование процесса электронно-лучевой сварки ультрачистого ниобия для изготовления СВЧ резонаторов», Труды XVIII научной конференции молодых учёных и специалистов ОИЯИ, pp. 153-156, 2014.
- 11) Азарян Н.С., Будагов Ю.А., Кураев А.А., Ширков Г.Д. и др., «Влияние геометрии сопряжения сверхпроводящего ниобиевого резонатора с трубкой дрейфа на его характеристики», Сообщение Объединенного института ядерных исследований Р9-2013-49, 2013.
- 12) Поболь И.Л., Юревич С.В., Азарян Н.С. и др., «ЭЛС ниобия для ускоряющих структур», Доклады Санкт-Петербургской Международной научно-технической конференции «Технологии и оборудование ЭЛС - 2014», pp. 135-140, 2014.
- 13) Azaryan N.S. и et al., «Dubna-Minsk activity on the development of 1.3 GHz superconducting single-cell RF-cavity», Proceedings of RuPAC2012, Saint-Petersburg, Russia, pp. 602-604, 2012.
- 14) Azaryan N.S. и et al., «Dubna-Minsk SRF technology development status report», Proceedings of IPAC2013, Shanghai, China, pp. 2393-2395, 2013.
- 15) Azaryan N.S., Rodionova V.N. и et al., «Superconducting single-cell RF-cavity for ILC accelerator», Proceedings of 8th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW-2013), 2013.
- 16) Azaryan N.S., Rodionova V.N. и et al., «Measurement resonance frequency and quality-factor of resonant cavity of Tesla-type in superconducting regime», Proceedings of 9th

International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW-2016), 2016.

17) Азарян Н.С., Батурицкий М.А. и др., «Состояние и перспективы создания резонаторов для нового поколения e^+e^- линейных ускорителей и коллайдеров», Международное рабочее совещание, Минск, 22-25 апреля, 2014 г., Дубна: ОИЯИ Р9-2014-98, 2014.

Проведённые исследования обеспечили создание оригинальной технологии производства ниобиевых резонаторов, которая полностью удовлетворяет требованиям по точности, качеству и экономичности, предъявляемым к изготовлению сверхпроводящих ниобиевых резонаторов. В созданной партии одноячеечных резонаторов достигнута стабильная долговременная сверхпроводимость и получена высокая повторяемость частоты резонаторов, изготовленных по разработанной технологии.

Диссертационная работа Азаряна Николая Сергеевича «Сверхпроводящие резонаторы для электронных линаков» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – «физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

Заключение принято на заседании научно-технического совета Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова Объединённого института ядерных исследований. Присутствовало на заседании 38 членов НТС ЛЯП из полного состава численностью 40 человек. Результаты голосования: «за» - 35 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 3 чел., протокол от 24 мая 2018 г.

Отзыв составил
доктор физ.-мат. наук

Г.А.Карамышева

Председатель НТС ЛЯП
кандидат физ.-мат. наук

Г.А. Шелков

Учёный секретарь НТС ЛЯП
кандидат физ.-мат. наук

М.В. Госткин