$$\frac{dJ}{dE_x} = Ne\mu_1 \frac{1 + \mu_0 z \left[1 - \frac{t-t_0}{t^2} \cdot \frac{z}{1+z} \left(\frac{\mu_0-1}{1+\mu_0 z} + \frac{\tau_0-1}{1+\tau_0 z} \right) \right]}{1 + z \left[1 - \frac{t-t_0}{t^2} \cdot \frac{z}{1+z} \left(\frac{\tau_0-1}{1+\tau_0 z} + \frac{\mu_0-1}{1+\mu_0 z} \right) \right]} \quad (10)$$

Отсюда видно, что дифференциальная проводимость сильно зависит от технологических параметров. Анализируем дифференциальную проводимость.

Относительно при низких температурах, когда $t = 0, z \rightarrow \infty, \varepsilon_b \rightarrow \infty$, получаем, что

$$\left. \frac{dJ}{dE} \right|_{t \rightarrow 0} = eN\mu_2 \quad (11)$$

Так как, все величины входящие (11) положительны, то получается положительная дифференциальная проводимость, что совпадает предположением Грибникова [1]. Наблюдается закона Ома. В предельном случае, когда $t \rightarrow \infty$, из формулы (10) имеем

$$\left. \frac{dJ}{dE} \right|_{t \rightarrow \infty} = Ne \frac{\mu_1 d_1 m_1^{3/2} + \mu_2 d_2 m_2^{3/2}}{d_1 m_1^{3/2} + d_2 m_2^{3/2}} \quad (12)$$

При этом получается постоянная дифференциальная проводимость. Кроме того, эта величина не зависит от высоты потенциального барьера. Ток от напряженности поля имеет линейную зависимость.

Таким образом, установлено, что на ВАХ до и после участка ОДП имеет место закон Ома.

В работе [3] приведены теоретические исследования эффекта возникновения ОДС в структурах $p-n$ - перехода в сверхвысокочастотном поле. Методом последовательного соединения диодов с ОДП в резонансной цепи можно получить несколько участков ОДП на ВАХ [4]. Как указано выше, диодные структуры при продольном приложении так же обладают участком ОДП на ВАХ, и поэтому могут быть использованы для генерации сверхвысокочастотных колебаний.

1. Грибников З.С. Отрицательная дифференциальная проводимость в многослойной гетероструктуре // ФТП. 1972. Т. 6. В. 7. С. 1380–1382.
2. Отениязов Е., Муратов А.С., Алимбетов К.Е., Турсынбаев С.А. Динамическая характеристика $p-n$ -структуры // «Вестник ККОАН РУз. 2016, №2, С. 10-14.
3. Romanov Yu.A. Negative high-frequency differential conductivity in semiconductor superlattices // Journal of Applied Physics. -2003. vol. 93. - No. 8. -pp. 4696-4703.
4. Боцула О.В., Прохоров Э.Д. Импедансные характеристики совместно работающих диодов с ОДП // Радиофизика и электроника. - Харьков. -2004. - 9, №1. - С. 282-288.

Штыков А.С.

Инновации в области использования низкотемпературной плазмы в промышленности и в социальной сфере (2019-2020 гг.)

*ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
(Россия, Петрозаводск)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-42

idsp: ljjournal-11-2020-42

Аннотация

Цель настоящей работы – определить направления разработки инноваций в области использования низкотемпературной плазмы в промышленности и в социальной сфере. В качестве инноваций были рассмотрены технические решения,

запатентованные в России в 2019-2020 гг. В результате выделены направления, в области которых патентуют разработки физики, специализирующиеся в области низкотемпературной плазмы, и цели, на достижение которых направлены их патенты.

Ключевые слова: генератор плазмы, магнитоактивная плазма, низкотемпературная плазма, плазменная активация.

Abstract

The purpose of this work is to determine the directions of development of innovations in the field of using low-temperature plasma in industry and in the social sphere. As innovations, technical solutions patented in Russia in 2019-2020 were considered. As a result, areas in the field of which physics developments specializing in the field of low-temperature plasma and the goals aimed at achieving which their patents are patented are identified.

Keywords: plasma generator, magneto-active plasma, low-temperature plasma, plasma activation.

В числе задач Стратегии развития Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ) [2 – 3] значимое место занимает интенсификация патентования разработок ПетрГУ [4 – 5]. Цель настоящей работы – определить направления разработки и патентования инноваций в области использования низкотемпературной плазмы (НТП) для развития ранее выполненных исследований [1, 7]. Для этого были рассмотрены патенты РФ за 2019-2020 гг.

Российская Федерация, от имени которой выступает ГК «Росатом» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» запатентовала изобретение (патент RUS № 2711180, опубл. 15.01.2020) для генерации магнитоактивной НТП в больших объемах. Достижимый эффект – повышение стабильности параметров формируемой плазмы. Российская Федерация, от имени которой выступает ГК «Росатом» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» также запатентовала изобретение (патент RUS № 2700287, опубл. 16.09.2019) на устройство для измерения параметров слабого магнитного поля в магнитоактивной НТП. Достижимый эффект – создание устройства для точечного измерения амплитудно-временных характеристик X-, Y- и Z-компонент слабого магнитного поля в плазме с меньшей погрешностью.

АО «Концерн Росэнергоатом» и ООО «Интро-Микро» запатентовали способ дезактивации элемента конструкции ядерного реактора НТП при подаче потока химически инертного газа (патент RUS № 2711252, опубл. 16.01.2020). Достижимый эффект – создание технологии дезактивации элементов конструкции ядерного реактора, выбивание радионуклидов с поверхности вместе с окружающими атомами, осаждение их на охлаждаемый коллектор и извлечение вместе с коллектором.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого запатентовал способ обработки поверхности пластин карбида кремния в индуктивно-связанной НТП (патент RUS № 2708812, опубл. 11.12.2019). Достижимый эффект – совмещение операций плазмохимического травления и полировки пластин карбида кремния в единый технологический процесс и получать поверхности с шероховатостью, пригодной для их использования при создании заземляющих контактов при изготовлении СВЧ-транзисторов.

Институт электрофизики УрО РАН запатентовал способ вакуумного НТП осаждения нанокристаллического покрытия из оксида алюминия на изделия (патент RUS № 2676720, опубл. 10.01.2019). Достижимый эффект – нанесение нанокристаллического покрытия с высокой скоростью при пониженной температуре.

Институт физического материаловедения СО РАН запатентовал источник неравновесной аргоновой плазмы на основе объемного тлеющего разряда атмосферного давления (патент RUS № 2705791, опубл. 12.11.2019). Достижимый эффект – упрощение конструкции устройства при повышении стабильности его работы

и эффективным дезинфицирующем воздействии НТП на обширные поверхности. Источник интенсивных потоков НТП запатентовал Институт прикладной физики РАН (патент RUS № 2695819, опубл. 29.07.2019). Достижимый эффект – формирование однородного по поперечному сечению потока НТП высокой плотности из разряда низкого давления.

Институт электрофизики и электроэнергетики РАН запатентовал конструкцию трехфазного генератора НТП (патент RUS № 187848, опубл. 20.03.2019). Достижимый эффект – повышение технического ресурса генератора за счет обеспечения возможности увеличения количества ионизированных атомов в струе подаваемого в электроразрядную камеру высокотемпературного ионизированного газа.

Институт электрофизики УрО РАН запатентовал способ низкотемпературного нанесения нанокристаллического покрытия из альфа-оксида алюминия на поверхность изделия в кислородно-аргоновой плазме разряда в условиях ионной бомбардировки (патент RUS № 2676719, опубл. 10.01.2019). Достижимый эффект – получение нанокристаллических покрытий методом реакционного анодного испарения алюминия.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления для утилизации твердых бытовых отходов запатентовал способ и установку (плазменный реактор с камерой дожигания и электродуговым плазмотроном) для его осуществления (патент RUS № 2725411, опубл. 02.07.2020). Достижимый эффект – обеспечение стабильной работы установки при непрерывном и циклическом режимах.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет запатентовал способ получения плазмомодифицированной системы затворения для цемента (патент RUS № 2695212, опубл. 22.07.2019). Согласно способу, водоцементную суспензию обрабатывают НТП и перемешивают с вяжущим и заполнителями для приготовления формовочных масс. Достижимый эффект – ускорения процессов гидратации и набора прочности в ранний период твердения строительных композитов на основе цемента.

Кубанский ГТУ запатентовал способы повышения износостойкости режущего инструмента (патенты RUS № 2699418, опубл. 26.03.2019 и № 2718642, опубл. 19.04.2020). Согласно способу по патенту RUS № 2699418 перед нанесением покрытия, содержащего титан, алюминий и ниобий, на поверхность режущего инструмента ее подвергают ионно-плазменному травлению в вакуумной камере аргоновой НТП. Достижимый эффект – повышение стойкости режущего инструмента к усталостному растрескиванию покрытия и стойкости к коррозионному разрушению.

Московский институт электронной техники запатентовал способ получения покрытия на основе биodeградируемого полимера (патент RUS № 2709091, опубл. 13.12.2019). Согласно способу покрытие обрабатывают в камере с НТП плазмой, формируемой высокочастотным генератором. Достижимый эффект – создание способа получения покрытия на основе биodeградируемых полимеров с модифицированной поверхностью, содержащей как можно большее число функциональных групп.

ОАО «Научно-исследовательское предприятие гиперзвуковых систем» запатентовало гиперзвуковой летательный аппарат (патент RUS № 187985, опубл. 26.03.2019), снабженный электрохимическим генератором НТП. Достижимый эффект – расширение диапазона гиперзвуковых режимов полета гиперзвукового аппарата и обеспечение их оперативной корректировки при изменении внешних условий полета или полетного задания.

Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН и Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН запатентовали способ активации воды или водных растворов путем воздействия НТП на объем обрабатываемых воды или водного раствора (патент RUS № 2702594, опубл. 08.10.2019). Достижимый эффект – обеспечение бесконтактности активации и высокой безопасности.

Согласно запатентованному ООО «АГНИ-К» способу (патент RUS № 2713008, опубл. 05.08.2020) плазменное азотирование оксидных соединений ведут путем воздействия на оксид НТП. Достижимый эффект – значительное уменьшение (примерно на 3 порядка) времени азотирования ZnO и получение высоких эксплуатационных характеристик оксидных соединений.

Всероссийский научно-исследовательский институт сои (патент RUS № 2683041, опубл. 26.03.2019) запатентовал способ сбалансированного биологически активного воздействия на семена среднеспелых сортов сои при их предпосевной обработке путем воздействия на семена НТП аргоновой СВЧ-плазмой с помощью СВЧ-источника электромагнитных колебаний. Достижимый эффект – ускорение начального этапа онтогенеза, повышение посевных качеств семян на 5-7% и устойчивости растений сои к воздействию внешних стрессоров.

Коллективом авторов запатентовано устройство (патент RUS № 2732218, опубл. 14.09.2020) для очистки газов от экологически вредных примесей, обеззараживания воздуха и стерилизации при помощи НТП, создаваемой импульсными стримерными коронными разрядами. Достижимый эффект – повышение КПД устройства.

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет и Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе запатентовали способ лечения ран и ожогов путем воздействия на раневую поверхность потоком НТП (патент RUS № 2726599, опубл. 14.07.2020). Достижимый эффект – ускорение заживления ран и ожогов, предотвращение формирования зон вторичного некроза, улучшение процессов микроциркуляции и ускорение репаративной регенерации.

Для обработки ран и остановки кровотечений с применением НТП запатентовано изобретение (патент RUS № 2733395, опубл. 01.10.2020, патентообладатель В.В. Пестов). Достижимый эффект – повышение надежности, упрощение конструкции снижение массы и габаритов устройства.

Для генерирования низкотемпературной струи НТП запатентована полезная модель, относящаяся к медицинской технике (патент RUS № 188887, опубл. 19.04.2019, патентообладатель Д.В. Шитц). Достижимый эффект – обеспечение безопасности пациентов в процессе обработки внутренних органов.

В патенте RUS № 2714292 (опубл. 14.02.2020, патентообладатели Е.О. Кутасова и А.Ф. Дмитриева) НТП используется для модификации поверхности метилметакрилата стоматологического протеза. Достижимый эффект – повышение совместимости поверхности протеза со слизистой полости рта у пациента при поражении слизистой оболочки полости рта.

Выполненный анализ позволил выделить направления, в области которых в рассмотренный период патентуют разработки физики, специализирующиеся в области низкотемпературной плазмы: атомная энергетика, формирование нанокристаллических покрытий, утилизация бытовых отходов, формирование цементных смесей, повышение износостойкости инструментов, создание гиперзвуковых летательных аппаратов, активизация воды, азотирование оксидных соединений, предпосевная обработка семян, лечение ран и ожогов, стоматология. Кроме того, выделены цели (эффекты), на достижение которых направлены патенты и патентовладельцы. Установлено, что активное патентование разработок в области низкотемпературной плазмы ведут структуры Росатома и институтов отделений РАН.

1. Анисимов А.Л., Бульба А.В., Луизова Л.А., Хахаев А.Д., Штыков А.С. Невозмущающие методы оптической диагностики гетерогенной плазмы // Химия высоких энергий. 2006. Т. 40. № 3. С. 233-237.

2. Васильев В.Н., Воронин А.В. Стратегическое планирование развития регионального распределенного университетского комплекса // Университетское управление: практика и анализ. 2002. № 2. С. 44-52.
 3. Воронин А.В. Университет как системообразующий региональный научно-инновационный комплекс // Высшее образование в России. 2010. № 8-9. С. 62-68.
 4. Шегельман И.Р. Формирование интеллектуальной собственности – важнейший элемент инновационной деятельности университетов // Инновации. 2011. № 11 (157). С. 17-19.
 5. Шегельман И.Р., Васильев А.С., Одлис Д.Б. Факторы, влияющие на интенсификацию формирования и охраны интеллектуальной собственности // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3 (30). С. 27.
 6. Шегельман И.Р., Воронин А.В. Университет в инновационном пространстве региона // Высшее образование в России. 2010. № 8-9. С. 77-80.
 7. Shtykov A.S., Luizova L.A. Evaluating of diffusion constant as kinetic parameter of dusty plasma structures // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. № 8-2 (129). С. 97-99.
-