

формированием барьерного заряда на границе контакта слоя диэлектрика с полупроводником *p*-типа.

Заключение. Проведены исследования диэлектрических свойств пленок HfO₂, полученных методом реактивного магнетронного распыления комбинированной Hf-Zr мишени. Анализ полученных результатов показывает, что метод реактивного магнетронного распыления Hf-Zr мишени в Ar/O₂ смеси газов применим для нанесения пленок оксида гафния-циркония. Без нагрева подложек и последующего отжига получены пленки HfO₂ с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4.5 - 10.5$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\phi = 0,05$ на частоте 1.0 МГц.

Литература

1. Wong, H. On the scaling issues and high- κ replacement of ultrathin gate dielectrics for nanoscale MOS transistors / H. Wong, H. Iwai // *Microelectronic Engineering*. – 2006. – Vol. 83 (10). – P. 1867–1904.
2. Jones, M. N. Dielectric constant and current transport for HfO₂ thin films on ITO / M. N. Jones, Y. W. Kwon, D. P. Norton // *Appl. Phys. A*. – 2005. – Vol. 81 (2). – P. 285–288.
3. Robertson, J. High-K materials and metal gates for CMOS applications / J. Robertson, R. M. Wallace // *Mater. Sci. Eng.* – 2015. – Vol. 88. – P. 1–41.
4. Zhang, H. H. Scaling behavior and structure transition of ZrO₂ films deposited by RF magnetron sputtering / H. H. Zhang, C. Y. Ma, Q. Y. Zhang // *Vacuum*. – 2009. – Vol. 83 (11). – P. 1311–1316.
5. Annealing effects of HfO₂ gate thin films formed by inductively coupled sputtering technique at room temperature / W. J. Choi [et al.] // *J. Korean Phys. Soc.* – 2004. – Vol. 45. – P. S716-S719.
6. High- κ ($\kappa = 30$) amorphous hafnium oxide films from high rate room temperature deposition / F. M. Li [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* – 2011. – Vol. 98. – P. 252903-1–3.
7. Choi, J. H. Development of hafnium based high- κ materials – A review / J. H. Choi, Y. Mao, J. P. Chang // *Materials Science and Engineering R*. – 2011. – Vol. 72 (6). – P. 97–136.
8. Boescke T.S., Mueller J., Brauhaus D., et al. Ferroelectricity in hafnium oxide thin films // *Appl. Phys. Lett.*, – 2011. – Vol. 99. – P. 102903.
9. Диэлектрические характеристики пленок оксида гафния / Д. А. Голосов, С. М. Завадский, С. Н. Мельников, Н. Вилья // *Российские нанотехнологии*. – 2017. – Т. 12, № 9–10. – С. 63–68.
10. Формирование пленок оксида циркония методом реактивного магнетронного распыления / Н. Вилья, Д. А. Голосов, С. М. Завадский, С. Н. Мельников, Д. Э. Окоджи // *Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 12-й международной конференции, Минск, 19–22 сентября 2017 г.* – С. 438–440.

УДК 004.77

РЕАБИЛИТАЦИОННЫЕ ЭКЗОСКЕЛЕТЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА: ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Магистрант Дубовик А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Гулай А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Реабилитационные экзоскелеты объединяют в себе сенсорные, управляющие и другие технологии и проявляют характеристики бионики, робототехники, науки об управлении, медицины и других междисциплинарных областей. В последние годы был

достигнут значительный прогресс в проектировании механических устройств и систем управления. Тем не менее, все еще существует большой пробел в исследованиях совместного взаимодействия человек-робот.

Появляются все новые и новые области применения для технических систем в медицине, которые стимулируют развитие робототехнических объектов, в частности, активных экзоскелетов.

Приоритетным направлением, где находят свое применение экзоскелеты, является медицинская реабилитация. Основные направления развития робототехнических систем в медицине (РТС) [1,2] представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Классификация робототехнических систем в медицине

Классификация реабилитационных экзоскелетов. Экзоскелеты для реабилитации нижних конечностей являются основным классом реабилитационных роботов, которые используются автономным способом и могут контролировать движения всех суставов в процессе ходьбы. Технология создания экзоскелетов – это комплексная технология, объединяющая чувствительные элементы, управление, информацию и информатику для обеспечения работы носимого механического устройства.

Реабилитационные экзоскелеты можно разделить на два типа, а именно реабилитационное стационарное устройство и реабилитационное автономное устройство.

Реабилитационные стационарные устройства используются для помощи передвижению ног, поддержки равновесия и обеспечения безопасности. В таких типах устройств используется система поддержки веса тела, которая необходима для снижения гравитационных сил, которые действуют на ноги. Примерами таких экзоскелетов являются ALEX, Lokomat и LOPES (рисунок 2).



Рис. 2. Реабилитационные стационарные устройства

Реабилитационные автономные устройства помогают пациентам в возобновлении наземной ходьбы, как показано на рисунке 3. Наиболее распространенными экзоскелетами являются eLEGS, Indego, ReWalk and HAL.



Рис. 3. Реабилитационные автономные устройства

Удобство ношения – одна из важнейших характеристик экзоскелетов для реабилитации нижних конечностей, и, следовательно, такие роботы должны иметь хорошую совместимость с человеком. Поэтому иллюстрирование анатомии нижних конечностей и анализ походки человека может обеспечить основу для проектирования и контроля экзоскелета нижних конечностей.

Анатомия нижних конечностей. Процесс ходьбы человека осуществляется, в основном, за счет нижних конечностей. Ходьба достигается путем координации между тазом, бедром, коленом и лодыжкой.

Все кости человека соединены посредством суставов, связок и сухожилий. Движение осуществляется с помощью сустава, в котором соединяются две кости. Суставы - подвижные соединения, область соприкосновения костей в которых покрыта суставной сумкой из плотной соединительной ткани.

Главная функция суставов - участвовать в осуществлении движений. Они выполняют роль демпферов, гасящих инерцию движения и позволяющих мгновенно останавливаться в процессе движения. Виды суставов: тазобедренный, коленный, голеностопный. В таблице 1 показаны степени свободы каждого сустава нижних конечностей.

Таблица 1. Степени свободы каждого сустава нижних конечностей

№	Сустав	Количество степеней свободы	Движение
1	Тазобедренный сустав	3	Сгибание / разгибание
			Отведение / приведение
			Внутреннее / внешнее вращение
2	Коленный сустав	2	Сгибание / разгибание
			Вращение
3	Голеностопный сустав	3	Подошвенное сгибание / тыльное сгибание
			Отведение / приведение
			Эверсия / инверсия

Для обеспечения кинематического анализа экзоскелета, необходимо рассмотреть изменения углов движения тазобедренного, коленного и голеностопного суставов в цикле ходьбы человека и выделить ряд углов. Используя время в качестве горизонтальной оси (единица измерения - секунда) и угла в качестве вертикальной оси (единица измерения - градус), строится кривая угла движения каждого соединения (рисунки 4-6). Посредством анализа кривой можно получить закон изменения угла каждого сустава при ходьбе и максимальный и минимальный углы сустава. В анализе углов движения основных суставов используются данные Гонконгского политехнического университета, Международного общества биомеханики и Центра аксессуаров для конечностей Данди. [3]

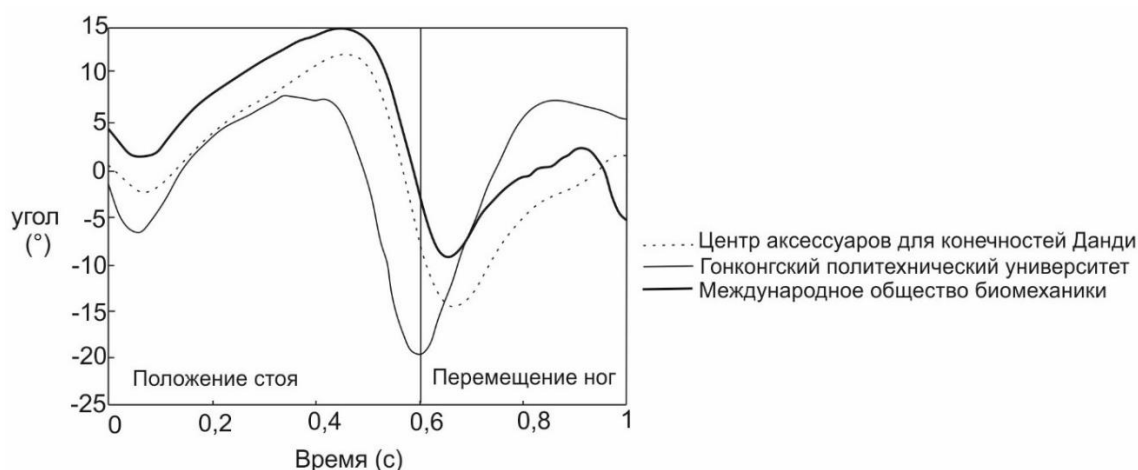


Рис. 4 – Кривая угла движения голеностопного сустава человека в сагиттальной плоскости со временем

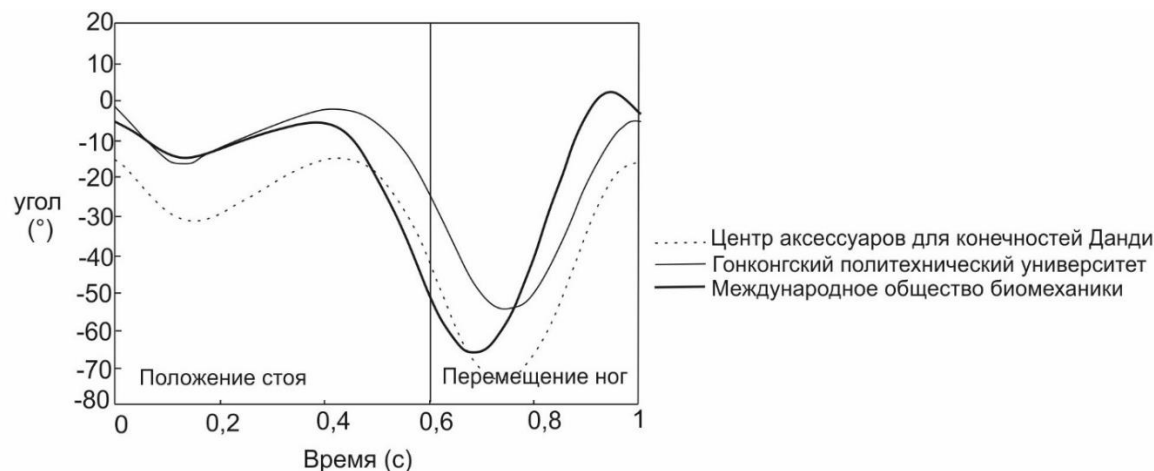


Рис. 5 – Кривая угла движения коленного сустава человека в сагиттальной плоскости со временем

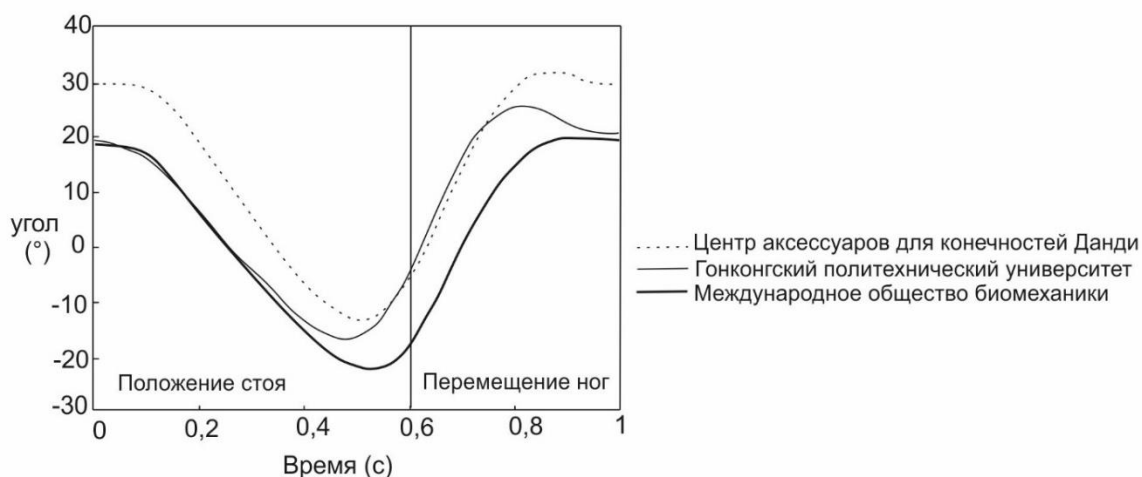


Рис. 6 – Кривая угла движения тазобедренного сустава человека в сагиттальной плоскости со временем. Основой для механического проектирования реабилитационных экзоскелетов является анализ строения нижних конечностей. [4]

Анализ походки человека. Нормальную походку пациентов невозможно измерить из-за нарушения двигательных функций. Следовательно, необходимо проводить реабилитационные тренировки и оценивать данные нормальной походки. Например, пациенты с гемиплегией часто следуют заранее определенной траектории. С помощью анализа походки человека можно выявить некоторые соответствующие характеристики. Ходьба человека характеризуется длиной, шириной и скоростью шага. Таким образом, параметры движений человеческого тела, индекс массы тела и структурные параметры оказывают значительное влияние на походку человека.

Литература

1. Саврасов Г.В., Ющенко А.С., Основные направления развития медицинской робототехники. // Мехатроника. -2000. -№4. - С.34-49.
2. Разумов А. Н., Головин В. Ф., Архиллов М. В., Журавлев В. В., Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине. // Вестник восстановительной медицины . -2011. - №4. - С. 31-38.
3. Di Shi, Wuxiang Zhang, Wei Zhang and Xilun Ding. A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots. – 2019.
4. Khusainov R., Klimchik A., Magid E. Swing leg trajectory optimization for a humanoid robot locomotion // Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2016 13th International Conference on, 2016.

УДК 004.78

АВТОНОМНАЯ МОБИЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

студент группы 10307118 Лоско Е.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель *Полынова Е.В.*

Белорусский национальный технический университете

Минск, Беларусь

Введение. Обычно прогноз погоды просто сообщает людям погодные условия в определенном городе или районе и в течение определенного периода времени. Однако