РАЗДЕЛ VIII. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Арсланова Ф.Г., Каменев Е.Н., Одинцов Е.Е.

Исследование возможностей применения микроплазменного фотоионизационного сенсора CES в горнорудной и нефтегазовой промышленности

*Санкт-Петербургский Горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-06-2020-49

idsp: ljjournal-06-2020-49

Аннотация

Метод электронной столкновительной спектроскопии (CES), позволивший группе плазменных исследований Санкт-Петербургского горного университета разработать инновационный фотоионизационный сенсор, обладает целым рядом прикладных преимуществ перед существующими аналоговыми методами детектирования молекул, применяемых на предприятиях на данный момент. Однако, учитывая возрастающие темпы общемирового потребления продукции, выпускаемой на предприятиях, а также высокий риск угрозы жизни и здоровью человека, большинство разработчиков не способны соответствовать повышенному уровню международных стандартов качества измерительных инструментов. Метод CES не просто позволяет в разы повысить точность современной измерительной техники, но делает устройство газоанализатора портативным, увеличивает показатели автономности, а также позволяет значительно снизить габариты устройства, что, как следствие, позволяет применять устройство в качестве индивидуального переносного устройства и использовать для диагностики состояния здоровья как на предприятиях, так и в домашних условиях.

Ключевые слова: Микроплазма, метод электронной столкновительной спектроскопии, CES метод, фотоионизационный сенсор, микроплазменный сенсор, индивидуальный газоанализатор, промышленность, средство индивидуальной защиты, горнорудное дело, нефтегазовое дело, горнодобывающая промышленность, минерально-сырьевой комплекс, техносферная безопасность, охрана труда.

Abstract

The method of Collision Electron Spectroscopy (CES), which allowed the plasma research group of St. Petersburg Mining University to develop an innovative photoionization sensor, has several applied advantages over existing analog molecular detection methods currently used in enterprises. Though, the rate of global consumption of products manufactured at enterprises increases, which has a high risk of threat to human life and health, most developers are not able to meet the increased level of international quality standards for measuring instruments. The CES method not only makes it possible to increase the accuracy of modern measuring equipment at times, but makes the gas analyzer device portable, increases autonomy, and also significantly reduces the device's dimensions, which, as a result, allows the device to be used as an individual portable sensor and used for diagnostics health conditions at home.

Keywords: Microplasma, the Electron Collision Spectroscopy method, CES method, photoionization sensor, microplasma sensor, individual gas analyzer, industry, personal protective equipment, mining, oil and gas industry, mining industry, mineral and raw materials complex, technosphere safety, labor protection.

Разработанный группой плазменных исследований Санкт-Петербургского Горного университета инновационный фотоионизационный микроплазменный сенсор обладает рядом преимуществ перед аналогами благодаря применяемому методу

электронной столкновительной спектроскопии (CES). Его уникальные характеристики и обширный список детектируемых молекул позволяют говорить о целом ряде областей применения. Ввиду повышения мировых стандартов в области охраны труда наиболее перспективными можно выделить производства, оказывающие негативное влияние на здоровье сотрудников. Основным отличием микроплазменного сенсора CES от газоанализаторов предыдущего поколения является принцип регистрации. Сенсор измеряет только значение энергии характеристических электронов, а не величину их вектора импульса.

Отметим, что при столкновении электрона с частицами газа на пути к аноду, он полностью теряет исходное направление импульса в то время, как кинетическая энергия изменяется на сравнительно малую величину $<1\%$. Таким образом регистрация кинетической энергии свободных электронов существенным образом не влияет на чувствительность устройства.

Рисунок 1. Вольт-амперная характеристика, первая и вторая производные

Анализ функции распределения электронов по энергии в ВУФ-фотоионизационном варианте детектора CES демонстрирует, что энергия ВУФ-фотонов составляет 10,5 и 11,5 эВ, ее достаточно для ионизации широкого круга органических молекул, это позволяет приблизиться по информативности к методу GC MS, однако при этом исключить габаритное и дорогостоящее высоковакуумное оборудование. Такой подход позволяет уменьшить размеры сенсора за счет отсутствия необходимости поддержания высокого вакуума, сохраняя при этом высокую точность и чувствительность, что делает данное устройство незаменимым в качестве портативного газоанализатора, обеспечивающего высокий уровень безопасности на производствах нефтегазовой отрасли. Уникальные характеристики фотоионизационного микроплазменного сенсора CES, среди которых высокая чувствительность (порядка 1ppm), малые габариты и вес, широкий спектр детектируемых молекул позволяют говорить о целом ряде областей применения. С помощью сенсора CES можно проводить анализ проб воздуха на прилегающих к устью скважины территориях, а также повсеместно у магистральных газопроводов и на нефтеперерабатывающих заводах экспресс-методом, осуществлять ежедневный контроль состояния здоровья рабочих на данных объектах с помощью силиконовых браслетов со встроенным сенсором.

Следует отметить, что такое многофункциональное устройство, как микроплазменный фотоионизационный сенсор CES, нашло свое применение и в горнорудной промышленности. Основным достоинством описываемого газоанализатора является способность осуществления контроля буровзрывных работ. Метано-воздушная смесь, составляющая шахты, в связи с наличием взрывоопасных и токсичных газов, требует осуществления постоянного мониторинга концентрации опасных веществ. Так как первостепенной задачей на предприятии и в процессе осуществления производственных работ является обеспечение безопасности персонала, необходим непрерывный контроль за состоянием здоровья рабочих. Микроплазменный фотоионизационный сенсор обладает широким спектром детектируемых молекул, что позволяет ему беспрепятственно за короткий промежуток времени определить не только опасный компонент, содержащийся в воздушной смеси и несущий угрозу жизни и здоровья работников в горнорудной промышленности, но и определяет его концентрацию, сравнивает со значением максимально разовой предельно допустимой концентрации. Таким образом, целесообразно говорить о проведении неразрушающего контроля за проведением буровзрывных работ на предприятии. Однако возможности сенсора не ограничиваются обеспечением непрерывного мониторинга состояния здоровья рабочих и газовой смеси в шахтах. Описываемый газоанализатор является инструментом построения аэроэкологической карты рудника, что свидетельствует о его функциональной оснащенности и перспективности.

Микроплазменный фотоионизационный сенсор CES – газоанализатор будущего, обладающий качествами, делающими его потенциальным фаворитом среди сегментов существующего рынка. Достоинства сенсора, в числе которых малые габариты, низкое энергопотребление, высокая чувствительность и широкий спектр детектируемых молекул, открывают совершенно новое поколение сенсоров, в основе которых лежит, кардинально отличающийся от существующих традиционных, метод электронной столкновительной спектроскопии.

1. Kudryavtsev, A., Mustafaev, A., Tsyganov A. et al. 2012. Electron energy spectra in helium observed in a microplasma Collisional Electron Spectroscopy detector. *Technical Physics* 57(10): 1325-1330.
2. Murillo, O., Mustafaev, A.S. & Sukhomlinov, V.S. 2019. Kinetic theory of the wall sheath for arbitrary conditions in a gas-discharge plasma. *Technical Physics* 64(9): 1308-1318. DOI: 10.1134/S106378421909010X.
3. Murillo, O., Mustafaev, A.S. & Sukhomlinov, V.S. 2019. Structure of the wall sheath in a gas-discharge plasma for an arbitrary orientation of a flat probe relative to the electric field in the plasma. *Technical Physics* 64(10): 1462-1472. DOI: 10.1134/S1063784219100141.
4. Mustafaev, A., Soukhomlinov, V. & Ainov, M. 2017. Ions velocity distribution functions in own gas plasma. Part 1. Experiment. *High Temperature* 55(3): 346-351. Doi: 10.1134/S0018151X17030178.
5. Mustafaev, A.S. & Sukhomlinov, V.S. 2020. Indicatrix determination of electron elastic scattering by an atom based on probe measurements of distribution functions of scattered electrons in a low-voltage beam discharge in inert gases. *Technical Physics* 65(4): 560-567. DOI: 10.1134/S1063784220040210.
6. Rastvorova, I et al. 2016. Microplasma photoionization sensors. *Theses of the III International Youth Scientific Conference: Physics. Technologies. Innovations of the FTI-2016*: 182-183.
7. Sukhomlinov, V., Mustafaev, A. & Timofeev, N. 2018. Probe measurements of the electron velocity distribution function in beams: The low-voltage beam discharge in helium. *Journal of Applied Physics* (123, 143301). Doi: 10.1063/1.5019819
8. Timofeev, N.A., Sukhomlinov, V.S., Zissis, G., Mustafaev, A.S. & Solihov, D. Q. 2020. Comments about the article “On the similarities of low-temperature plasma discharges”. *IEEE Transactions on Plasma Science* 48(2): 596-601. DOI: 10.1109/TPS.2019.2950532.
9. Wang, H., Sukhomlinov, V.S., Kaganovich, I.D. & Mustafaev, A.S. 2017. Ion velocity distribution functions in argon and helium discharges: detailed comparison of numerical simulation results and experimental data. *Plasma Sources Science and Technology* (024002). Doi: 10.1088/1361-6595/26/2/024002.
10. Wang, H., Sukhomlinov, V.S., Kaganovich, I.D. & Mustafaev, A.S. 2017. Simulations of ion velocity distribution functions taken into account both elastic and charge exchange collisions. *Plasma Sources Science and Technology* (26, 024001). Doi: 10.1088/1361-6595/26/2/024001.