

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОХИМИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Использование ионных жидкостей открывает новые возможности для развития электрохимии. Преимущественно в состав ионных жидкостей входят объемные органические катионы с положительно заряженным гетероатомом (азот, сера, фосфор и др.) и неполярной углеродной цепью различной длины и с разной степенью разветвленности. Анионы могут быть как неорганическими, так и органическими. Главными особенностями строения ионных жидкостей является асимметричность молекулы, конформационная подвижность ионов и распределение электростатического заряда в объеме большой группы атомов. Несимметричное строение и пространственная изолированность зарядов, невысокая энергия связи ионных жидкостей препятствуют образованию их кристаллической структуры и обуславливают низкие температуры плавления этих веществ [1,2].

Ионные жидкости имеют преимущества по сравнению с классическими электролитами, поскольку характеризуются широким окном электрохимической стабильности, достаточно высокой ионной проводимостью, низкой летучестью, являются нетоксичными. Эти соединения остаются в жидком состоянии в широком интервале температур, взрывобезопасные, термически устойчивы, негорючие, удобны для проведения в них различных электрохимических процессов [1,2].

Электрохимические свойства ионных жидкостей можно менять в широких пределах путем соответствующего выбора и комбинации катионов и анионов. Природа катиона определяет физические свойства ионных жидкостей, такие как температура плавления, вязкость, плотность. Природа аниона значительно влияет на химическое поведение и стабильность ионной жидкости. Благодаря возможности комбинирования составляющих компонентов синтезируют ионные жидкости с определенным набором свойств (электропроводность, вязкость, ширина окна электрохимической устойчивости), что позволяет проводить исследования в оптимальных условиях и целенаправленно получать необходимый конечный результат [3].

Для проведения электрохимических исследований особенно важными характеристиками ионных жидкостей является удельная электропроводность (для большинства жидкостей при комнатной температуре изменяется в диапазоне 0,1 - 20 мСм/см), гидрофобность, значительная вязкость (при комнатной температуре варьирует в пределах 10 – 500 сП), большая ширина электрохимического окна (типичное значение составляет 4,5-5 В).

Увеличение длины алкильной цепи катиона приводит к увеличению вязкости вследствие возрастания сил Ван-дер-Ваальсового взаимодействия

между катионами. Для снижения вязкости и повышения подвижности ионов применяют органические растворители, что позволяет увеличить электропроводность ионных жидкостей в 2-10 раз [2].

Недостаточно высокие значения проводимости для ионных жидкостей можно объяснить существованием относительно стабильных нейтральных ассоциатов. В отличие от обычных растворов электролитов, где ионы разделены молекулами растворителя и образование ионных ассоциатов маловероятно, свойства этих растворов определяются взаимодействиями ион-ион, ион-растворитель, растворитель-растворитель [1].

Ионные жидкости являются одновременно и электролитом, и растворителем. Поэтому свойства этих соединений определяются ион-ионными и дисперсионными взаимодействиями. В отдельных случаях могут образовываться водородные связи. Возможность комбинировать ионы позволяет регулировать электрохимические свойства ионных жидкостей и проводить направленный синтез таких соединений с определенным комплексом электрохимических свойств [2].

Ширина электрохимического окна определяет возможный диапазон потенциалов для проведения электрохимических превращений. Известны ионные жидкости с электрохимическим окном 5-9 В, которые можно повторно использовать без разрушения структуры и потери свойств. В целом, диапазон электрохимического окна ионных жидкостей шире, чем для стандартных органических электролитов, и значительно превышает область допустимых потенциалов в водных электролитах [3].

Существенным преимуществом ионных жидкостей является невысокая токсичность для окружающей среды. Установлено, что введение функциональных полярных групп в алкильную цепь может снижать токсичность ионных жидкостей и увеличивать эффективность биологического разложения [4].

Таким образом, приведенные электрохимические свойства ионных жидкостей позволяют осуществлять в их среде различные электрохимические процессы, реализовать которые в обычных растворителях маловероятно.

Наиболее перспективными являются следующие направления применения ионных жидкостей: электроосаждение и очистка металлов, синтез наночастиц металлов и их сплавов, электрополирование, электроокисление и электровосстановление различных неорганических и органических соединений, разработка композиционных материалов для модификации электродов. Ионные жидкости применяют в качестве компонентов электролитов или мембран для различных электрохимических устройств (в литиевых аккумуляторах, конденсаторах, солнечных батареях, топливных элементах). В частности, результаты испытаний литий-ионных аккумуляторов на основе ионных жидкостей продемонстрировали их высокую производительность, повышенный срок действия и безопасность [3,4].

Электрохимические методы обработки металлов в ионных жидкостях приобретают все большее значение вследствие легкости их реализации, а также возможности оптимизации условий получения поверхностей необходимого качества. Электрохимическое полирование металлов в среде ионных жидкостей приводит к уменьшению шероховатости поверхности и появлению зеркального блеска. В результате полировки качество поверхности металлов улучшается, повышается отражательная способность и коррозионная устойчивость.

Основным преимуществом использования ионных жидкостей - электролитов гальванических производств по сравнению с водными растворами является отсутствие выделения водорода при электроосаждении покрытий. Поэтому возможно образование антикоррозионных покрытий без трещин. Композиционные материалы (токопроводящие полимеры, полупроницаемые мембраны, электроактивные гели) могут быть использованы в электрохимических сенсорах, химических источниках тока. Как ионные жидкости, так и материалами на их основе используют для модификации электродов [4,5].

Ионные жидкости применяются также в качестве среды для изучения механизма электрохимических превращений при прохождении окислительно - восстановительных процессов, распределения гидрофильных ионов между водой и ионной жидкостью, транспорта заряда и измерения равновесных потенциалов окислительно-восстановительных пар [3].

Ионоселективные электроды на основе полимерных мембран, пластифицированных ионными жидкостями, характеризуются высокой стабильностью и воспроизводимостью потенциала в широком интервале рН (рН = 3-10) и малым временем отклика - не более 20 с даже в случае анализа разбавленных растворов [5].

Вывод. Ионные жидкости являются перспективными материалами для применения в электрохимии. Комплекс электрохимических свойств ионных жидкостей определяется их химическим строением и значительно расширяет возможности современной электрохимии. Преимуществами ионных жидкостей является возможность направленного синтеза этих веществ с необходимым набором электрохимических свойств, которые обеспечивают эффективное прохождение электрохимических процессов. Основными недостатками ионных жидкостей является их невысокая электропроводность и высокая вязкость, которая значительно возрастает при понижении температуры. Дальнейшее исследование ионных жидкостей открывает новые возможности для развития электрохимии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Weidlich T. Possibilities and Limitations of Ionic Liquids in Electrochemical and Electroanalytical Measurements (a review) / T. Weidlich, M. Stoces, I. Svancara // Sensing in Electroanalysis. – 2010. – Vol. 5. – P.33–56.

2. Watanabe M. Design and materialization of ionic liquids based on an understanding of their fundamental properties / M. Watanabe // *Electrochemistry*. – 2016. – Vol. 84(9). – P. 642–653.

3. Armand M. Ionic-liquid materials for the electrochemical of the future / M. Armand, F. Endres, D. MacFarlane et al. // *Nature Materials*. – 2009. – Vol. 8. – P. 621–629.

4. Rehman A. Ionic liquids as green solvents and electrolytes for robust chemical sensor development / A. Rehman, X. Zeng // *Acc Chem Res*. – 2012. – Vol. 45. – P. 1667–1677.

5. Shiddiky M. Application of ionic liquids in electrochemical sensing systems / M. Shiddiky, A. Torriero // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2011. – Vol. 26(5). – P. 1775–1787.

УДК 621.357:628.3:661.185.1

А.В. Перфильева научный сотрудник, к.т.н.,  
В.И. Ильин доцент, к.т.н.,  
Р.В. Якушин доцент, к.т.н.  
РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

## **ВЛИЯНИЕ pH СРЕДЫ НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ДИСПЕРСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА (III), НИКЕЛЯ (II) И КОБАЛЬТА (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

Представляет интерес изучить процесс формирования дисперсной фазы в растворах содержащих ионы металлов с различным pH гидроксиобразования, влияние физико-химических свойств дисперсной фазы на эффективность протекания электрофлотационного процесса в широком интервале pH. [1]

Объектом исследований являлись растворы, содержащие смесь малорастворимых коллоидно-дисперсных соединений хрома (III), никеля (II) и кобальта (II).

Изучено влияние pH среды на электрокинетический потенциал мВ ( $\zeta$ ), средний гидродинамический диаметр  $d_{ср}$ , мкм, и электрофлотационную активность малорастворимых соединений хрома (III), никеля (II) и кобальта (II). в воде  $\alpha$ , %.

Перевод ионов металлов в дисперсную форму осуществлялся путём регулирования pH среды раствором NaOH. При исследовании однокомпонентных систем исходная концентрация ионов металлов составляла 50 мг/л. При исследовании многокомпонентных систем суммарная концентрация металлов также составляла 50 мг/л с массовым соотношением металлов 1:1. Эксперименты проводились в интервале pH 5–12.