

приближенно можно рассчитать по выражению

$$C_{\text{Si}}^{\text{макс}} = \frac{i_{\text{Si}} \mathcal{E}_{\text{Si}}}{D_{\text{K}} \mathcal{E}_{\text{Al}} - i_{\text{Si}} (\mathcal{E}_{\text{Al}} - \mathcal{E}_{\text{Si}})}, \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{Si}}=7$ и $\mathcal{E}_{\text{Al}}=9$ — электрохимические эквиваленты кремния и алюминия; D_{K} — общая катодная плотность тока.

Учитывая, что в промышленных электролизерах $D_{\text{K}} \approx 0,5-0,7$ А/см², сплав с максимальным содержанием 8—13 % Si можно получить без изменения технологии. Вероятно, эта оценка занижена, поскольку величина v_b в электролизной ванне должна быть несколько больше, чем в наших опытах, вследствие более высокой температуры и интенсивного перемешивания. Кроме того, при перемешивании скорость введения SiO₂ может быть больше величины $\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{макс}}$, поскольку в этих условиях небольшие количества осадка не должны существенно влиять на параметры процесса. Поэтому предельно достижимая концентрация кремния в электролитическом силумине в промышленных условиях, по-видимому, находится в пределах 10—16 %. Такие сплавы можно получить в оптимальных условиях ведения процесса, не допуская образования значительных количеств пассивирующего осадка.

1. Механизм взаимодействия жидкого алюминия с расплавом Na₃AlF₆—AlF₃—Al₂O₃—SiO₂/Ю. К. Делимарский, Д. В. Прутцков, А. А. Андрийко, Р. В. Чернов.— Укр. хим. журн., 1983, 49, № 7, с. 738—742.
2. Машовец В. П., Артоболевская Е. С. Поведение кремнезема в криолитглиноземной среде.— Тр. НИИ Салюминий. Л.: ОНТИ, 1934, № 9, с. 5—15.
3. Гриотхейм К., Матиашовски К., Феллнер П. Получение сплавов кремния посредством электролиза криолит-кремнеземного расплава.— Rev. Roum. Chim., 1972, 17, № 5, p. 819—829.
4. Антипин П. Ф., Иванова Л. И. К вопросу электролитического получения сплавов алюминия с кремнием.— Цвет. металлы, 1950, № 2, с. 49—53.
5. Бабко А. К., Пилипенко А. Т. Фотометрический анализ.— М.: Химия, 1974.— 360 с.
6. Fellner P., Matiasovsky K. Chemical reactions in molten Na₃AlF₆—SiO₂—Al₂O₃—AlF₃ mixtures.— Chem. zvesti, 1973, 27, N 6, p. 737—741.
7. Сенин В. Н., Фролова Э. Б., Лещинский Р. Г. Исследование возможности производства алюминиево-кремниевых сплавов в алюминиевых электролизерах.— В кн.: Современные достижения в производстве и обработке алюминия и его сплавов. Л.: ВАМИ, 1981, с. 44—48.
8. Баташев К. П., Журич А. И. Об электролитическом получении сплавов алюминия с кремнием.— Металлург, 1933, № 2, с. 66—72.
9. Беляев А. И. Металлургия легких металлов.— М.: Металлургиздат, 1944.— 543 с.
10. Гельд П. В., Есин О. А. Процессы высокотемпературного восстановления.— Свердловск: Металлургиздат, 1957.— 646 с.

Институт общей и неорганической химии
АН УССР, Киев

Поступила
17.11.82

УДК 546.682.05(088.8)

ПРИМЕНЕНИЕ МОНОХЛОРИДА ИНДИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ИНДИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

В. Ф. Козин, И. А. Шека

Металлический индий и его соединения высокой чистоты все чаще применяют в различных областях новой техники. В связи с этим его производство непрерывно увеличивается, а технология получения совершенствуется [1].

Технологические схемы извлечения индия из полупроводников цветной металлургии, получение черного и чистого металла основаны на гидрометаллургических процессах с использованием водных растворов хлоридов, бромидов или сульфатов индия, из которых индий выделяют

электролизом или цементацией цинком, алюминием, магнием [2—4]. Одним из важных этапов является очистка растворов, применяемых для электролитического получения чистого и особоистого индия. Для очистки индиевого электролита от сопутствующих металлов-примесей чаще других способов применяли экстракционные [5], осаждение сульфидом натрия [6, 7] и др., однако они недостаточно эффективны и трудоемки.

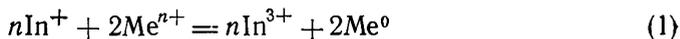
Моногалогениды индия являются сильными восстановителями и представляют большой интерес в качестве перспективных реагентов для очистки индиевых растворов от более электроположительных, чем индий, ионов других металлов-примесей. Однако ионы $\text{In}(\text{I})$ в водных растворах неустойчивы. До недавнего времени считалось, что получить растворы монохлорида индия достаточной концентрации невозможно.

Нами были исследованы условия образования и стабилизации моногалогенидов индия в системах $\text{InX}_3\text{—In}^0\text{—InX—MX}_n\text{—H}_2\text{O}$, где $\text{X} = \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{I}$ [8—10]. Показано, что в присутствии солей, катионы которых сильно гидратированы, вследствие снижения активности воды создаются условия, благоприятствующие образованию $\text{In}(\text{I})$ и повышению его устойчивости. Таким образом можно получать водные растворы моногалогенидов индия с концентрацией 1,5—2,5 моль/л.

В настоящей статье описано применение монохлорида индия в качестве восстановителя для разработки нового способа очистки индиевого электролита с целью получения чистого металла.

При продолжительном электролитическом получении и рафинировании индия из сернокислых аммонийных электролитов в последних накапливаются металлы-примеси более электроотрицательных металлов — кадмия, цинка и более электроположительных — меди, свинца, олова, таллия, никеля, ртути и др. Для удаления более электроположительных металлов-примесей электролит периодически подкисляют до рН 1—1,5 и пропускают его через цементатор с пластинами индия [4] или через индиевую губку [11], или через слой активированного угля [12]. Из-за малой поверхности и трудности регенерации индиевых пластин и индиевой губки эффективность такой очистки незначительна.

Соединения индия низшей валентности являются энергичными восстановителями. Поэтому мы использовали их для разработки метода очистки индиевых электролитов от более электроположительных металлов-примесей. Предложенный способ основан на восстановлении ионами $\text{In}(\text{I})$ ионов металлов-примесей в растворе по гомогенной реакции восстановления ионами $\text{In}(\text{I})$ ионов более электроположительных металлов-примесей



и реакции вытеснения (цементация) образующимся по реакции диспропорционирования



тонкодисперсным металлическим индием более электроположительных ионов металлов:



Потенциал реакции $\text{In}^+ = \text{In}^{3+} + 2e$ более электроотрицательный ($\varphi_{\text{In}^{3+}/\text{In}^+}^0 = -0,443 \text{ В}$) по сравнению с $\varphi_{\text{In}^{3+}/\text{In}^0}^0 = -0,342 \text{ В}$ в случае металлического индия. Поэтому реакция (1) восстановления более электроположительных ионов-примесей (свинца, олова, висмута, меди, серебра и др.) $\text{In}(\text{I})$ будет протекать более глубоко.

Реакция диспропорционирования (2) протекает с высокой скоростью, в объеме раствора вначале образуется коллоидный раствор металлического индия, который энергично восстанавливает более электроположительные по отношению к индию металлы-примеси. Частицы металлического индия в растворе при отстаивании быстро укрупняются

ся, захватывают выделившиеся тонкодисперсные металлы-примеси и вместе коагулируют. Скорость коагуляции тонких суспензий металлического индия в значительной степени зависит от кислотности. При коагуляции металлического индия примеси более электроположительных металлов оказываются распределенными в такой осадке и не подвергаются вторичному окислению. Поэтому эффективность очистки индиевых растворов In (I) очень высока.

Реакция (1) гомогенна, протекает с очень высокой скоростью, она суммарна и состоит из двух сопряженных полуреакций:



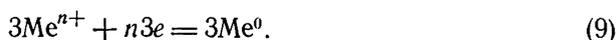
Константа равновесия реакции (1) выражается уравнением

$$K_p = \frac{a_{\text{In}^{3+}}^n}{a_{\text{In}^+}^n \cdot a_{\text{Me}^{n+}}^2} = \frac{[\text{In}^{3+}]^n \cdot f_{\text{In}^{3+}}^n}{[\text{In}^+]^n \cdot f_{\text{In}^+}^n \cdot [\text{Me}^{n+}]^2 \cdot f_{\text{Me}^{n+}}^2}. \quad (6)$$

Согласно анализу потенциалов сопряженных реакций (4), (5), при условии достижения равновесия выражение для константы равновесия реакции (1) запишем в виде

$$\ln K_p = \frac{2nF}{RT} (\varphi_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}^0}^0 - \varphi_{\text{In}^{3+}/\text{In}^+}^0). \quad (7)$$

Реакция (3) также является суммарной и состоит из двух сопряженных реакций:



Константу равновесия реакции (3) можно выразить уравнением

$$K'_p = \frac{a_{\text{In}^{3+}}^n}{a_{\text{Me}^{n+}}^3} = \frac{[\text{In}^{3+}]^n \cdot f_{\text{In}^{3+}}^n}{[\text{Me}^{n+}]^3 \cdot f_{\text{Me}^{n+}}^3}. \quad (10)$$

Таблица 1

Физико-химические параметры восстановления металлов примесей в системах $\text{In}^+ - \text{Me}_i^{n+}$ и $\text{In}^0 - \text{Me}_i^{n+}$

Реакция	φ , В	K_p	K'_p	$[\text{Me}_i^{n+}]_p$ при восстановлении*		ΔG_{298}^0 (кДж/моль) восстановления	
				In ⁺	In ⁰	In ⁺	In ⁰
$\text{Tl}^+ + e = \text{Tl}^0$	-0,335	$2,8 \cdot 10^7$	2,3	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	-42	-2
$\text{Co}^{2+} + 2e = \text{Co}^0$	-0,271	$8,5 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	-68	-42
$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}^0$	-0,241	$9,8 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	-79	-60
$\text{Sn}^{2+} + 2e = \text{Sn}^0$	-0,136	$1,5 \cdot 10^{21}$	$1,3 \cdot 10^{21}$	$0,9 \cdot 10^{-9}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$	-120	-120
$\text{Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}^0$	-0,126	$7,2 \cdot 10^{21}$	$2,2 \cdot 10^{22}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$4,1 \cdot 10^{-10}$	-124	-127
$\text{Se}^{2+} + 2e = \text{Se}^0$	+0,010	$1,7 \cdot 10^{31}$	$2,6 \cdot 10^{36}$	$0,5 \cdot 10^{-14}$	$1,3 \cdot 10^{-17}$	-178	-207
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}^0$	+0,337	$6,2 \cdot 10^{53}$	$1,7 \cdot 10^{70}$	$2,4 \cdot 10^{-26}$	$1,4 \cdot 10^{-34}$	-306	-400
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e = 2\text{Hg}^0$	+0,798	$3,8 \cdot 10^{85}$	$8,5 \cdot 10^{117}$	$0,9 \cdot 10^{-41}$	$6,5 \cdot 10^{-58}$	-487	-672
$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}^0$	+0,799	$4,4 \cdot 10^{85}$	$1,0 \cdot 10^{59}$	$4,8 \cdot 10^{-42}$	$2,5 \cdot 10^{-28}$	-488	-336
$\text{Bi}^{3+} + 3e = \text{Bi}^0$	+0,215	$1,2 \cdot 10^{68}$	$2,7 \cdot 10^{86}$	$3,1 \cdot 10^{-33}$	$3,8 \cdot 10^{-42}$	-387	-492
$\text{As}^{3+} + 3e = \text{As}^0$	+0,254	$1,4 \cdot 10^{73}$	$3,0 \cdot 10^{92}$	$3,3 \cdot 10^{-36}$	$1,3 \cdot 10^{-45}$	-416	-527
$\text{Sb}^{3+} + 3e = \text{Sb}^0$	+0,212	$5,8 \cdot 10^{67}$	$7,1 \cdot 10^{85}$	$2,5 \cdot 10^{-33}$	$4,2 \cdot 10^{-42}$	-387	-490

* Равновесная термодинамическая концентрация металлов-примесей, г/л.

При установившемся равновесии сопряженных реакций (8), (9) константа равновесия получит следующее выражение:

$$\ln K_p' = \frac{3nF}{RT} (\varphi_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}^0}^0 - \varphi_{\text{In}^{3+}/\text{In}^0}^0). \quad (11)$$

Вычисленные величины констант равновесия реакций восстановления более электроположительных металлов-примесей In (I) и металлическим индием приведены в табл. 1. Стандартные потенциалы индия и металлов-примесей взяты из [13, 14]. Очистка индиевого электролита от электроположительных металлов-примесей In (I) должна быть эффективной. В зависимости от разности стандартных электродных потенциалов реакций константа равновесия K_p изменяется в широком интервале. В связи с этим были рассчитаны термодинамические концентрации ионов металлов-примесей при достижении равновесия в реальных растворах. Расчет проводили по преобразованным уравнениям (6) и (10):

$$a_{[\text{Me}^{n+}]} = \sqrt{\frac{[\text{In}^{3+}] \cdot f_{\text{In}^{3+}}^n}{[\text{In}^+]^n \cdot f_{\text{In}^+}^n \cdot K_p}}; \quad (12)$$

$$a_{[\text{Me}^{n+}]} = \sqrt[3]{\frac{[\text{In}^{3+}]^n \cdot f_{\text{In}^{3+}}^n}{K_p'}}. \quad (13)$$

Согласно теории Дебая — Хюккеля [15], коэффициенты активности в разбавленных растворах определяются ионной силой раствора. Коэффициенты активности In^+ и In^{3+} рассчитывали по уравнению Дэвиса [16]

$$-\lg f_z = Az^2 \left[\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2 \cdot I \right], \quad (14)$$

где A — константа; I — ионная сила раствора:

$$I = 1/2 \sum C_i \cdot z_i^2, \quad (15)$$

здесь C_i — концентрация; z_i — заряд i -частицы.

Для водных растворов при комнатной температуре $A=0,509$. При расчете ионной силы раствора учитывали степень диссоциации ZnCl_2 и InCl_3 , которую рассчитывали по уравнению [17]: $\alpha = \lambda/\lambda_0$, где λ и λ_0 — соответственно эквивалентные электропроводности реального раствора ZnCl_2 (или InCl_3) и при бесконечном разбавлении.

В результате получено $\alpha_{\text{ZnCl}_2} = 0,316$, $\alpha_{\text{InCl}_3} = 0,301$ и $I = 1,32$. При расчете были использованы следующие концентрации солей в растворе, моль: InCl_3 0,47; ZnCl_2 0,50; InCl $1,8 \cdot 10^{-4}$. Концентрация InCl взята равновесная в растворе системы $\text{In}^0 - \text{InCl} - \text{InCl}_3$ [8].

Рассчитанные значения активностей металлов-примесей фактически равны их концентрациям в растворе, поскольку при таких низких величинах $a_{\text{Me}_i}^{n+}$ коэффициенты активности $f_{\text{Me}_i}^{n+} = 1$ (табл. 2).

При восстановлении ионов-примесей In (I) K_p значительно меньше, чем при цементации металлическим индием и составляет в зависимости

Таблица 2

Равновесные концентрации металлов-примесей в системах $\text{In}^+/\text{Me}_i^{n+} - \text{InCl}_3 - \text{ZnCl}_2$ и $\text{In}^0/\text{Me}_i^{n+} - \text{InCl}_3 - \text{ZnCl}_2$ при 25°

Система	Cu	Hg	Pb	Sn	Ni
$\text{In}^+/\text{Me}_i^{n+} - \text{InCl}_3 - \text{ZnCl}_2$	$4,06 \cdot 10^{-24}$	$5,49 \cdot 10^{-40}$	$3,99 \cdot 10^{-8}$	$8,75 \cdot 10^{-8}$	$3,42 \cdot 10^{-4}$
$\text{In}^0/\text{Me}_i^{n+} - \text{InCl}_3 - \text{ZnCl}_2$	$2,71 \cdot 10^{-19}$	$8,08 \cdot 10^{-30}$	$1,40 \cdot 10^{-8}$	$2,37 \cdot 10^{-8}$	$5,89 \cdot 10^{-6}$

от их природы $3 \cdot 10^{-4}$ — $5,5 \cdot 10^{-4}$. В процессе восстановления примесей In (I) одновременно будут протекать также и реакции диспропорционирования ионов In^{+} с образованием коллоидных растворов металлического индия и, следовательно, возможно взаимодействие выделяющихся металлов-примесей и металлического индия с образованием сплавов (твердых растворов и интерметаллических соединений), что также будет смещать равновесие в сторону уменьшения концентрации примесей. Как видно из табл. 1, с увеличением разности стандартных потенциалов глубина очистки электролитов от металлов-примесей при восстановлении In (I) возрастает. Особенно это заметно при очистке растворов от меди, висмута, сурьмы, мышьяка и ртути. Рассчитанные нами значения свободной энергии Гиббса ΔG_{298}^0 отрицательны, то есть реакции восстановления металлов-примесей In (I) и металлическим индием будут протекать самопроизвольно до установления равновесных концентраций их в растворах.

Для очистки индиевых электролитов от ионов меди, ртути, свинца и олова введением в электролит ионов In (I) был приготовлен водно-солевой раствор In (I) путем восстановления трихлорида индия металлическим индием в растворе, содержащем 2 моль/л $CaCl_2$, 10 $ZnCl_2$, 1,0 $InCl_3$ и 5 моль/л HCl . Синтез проводили при температуре 110—140° и интенсивном перемешивании в течение 25—30 мин. Полученный стабильный водно-солевой раствор In (I) с 2,5 моль/л $InCl$ небольшими порциями, перемешивая, вливали в очищаемый индиевый электролит до заданных концентраций.

Таблица 3
Результаты очистки индиевого электролита от электроположительных металлов-примесей раствором монохлорида индия ($In^{+}=2,5$ моль/л)

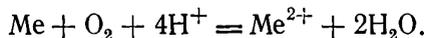
V In(I), мл	Содержание электроположительных металлов-примесей в электролите, г/л			
	Cu	Hg	Pb	Sn
	До очистки			
	0,12	0,04	0,04	0,02
	После очистки			
5	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
8	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
10	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$

Монохлорид индия устойчив в водно-солевых растворах [9], но при введении его в электролит с высокой концентрацией свободной воды протекает реакция диспропорционирования [10]. Растворы, подлежащие очистке, содержали 0,47 моль/л $InCl_3$, 0,5 моль/л $ZnCl_2$, а также определенную концентрацию металлов-примесей: меди, ртути, свинца, олова и имели рН 1—2. Для каждой серии опытов брали по 100 мл раствора. Содержание микропримесей до и после очистки определяли атомно-абсорбционным методом. С увеличением концентрации In (I) в растворе содержание металлов-примесей в электролите уменьшается: меди — в 750 раз, ртути — в 300, свинца — в 29, олова — в 16 (табл. 3). При двукратном увеличении концентрации ионов In^{+} в растворе концентрация металлов-примесей в очищаемом растворе еще больше уменьшается: меди — в 6300 раз, ртути — в 3000, свинца — в 250, олова — в 110. Из полученных результатов видно, что более глубокая очистка электролита возможна при повышении концентрации вводимого восстановителя — In (I).

При очистке растворов от металлов-примесей необходимо определенное время для коагуляции коллоидов металлического индия и отде-

ления их из растворов совместно с примесями. Из сопоставления данных табл. 1—3 видно, что вычисленные равновесные концентрации ионов меди, ртути, свинца и олова в системах $\text{In}^0\text{—Me}^{n+}\text{—In}^{3+}\text{—H}_2\text{O}$ и $\text{In}^+\text{—Me}^{n+}\text{—In}^{3+}\text{—H}_2\text{O}$ значительно меньше, чем найденные при очистке промышленных электролитов индием или его монохлоридом.

Расхождения между расчетными и экспериментальными данными вызваны наличием растворенного кислорода в электролите, что приводит к возникновению на поверхности частиц индия и металлов-примесей сопряженной анодной реакции растворения индия и металлов-примесей и реакции восстановления кислорода:



Кроме того, очевидно, при коагуляции тонкодисперсного индия не происходит полный «захват» восстановленных металлов-примесей, и полное отделение образовавшегося при диспропорционировании металлического индия, содержащего металлы-примеси, из раствора невозможно. В процессе очистки индиевого электролита не достигается коагуляция коллоидов металлов-примесей, также как и металлического индия, образующегося по реакции диспропорционирования. Поэтому для повышения эффективности очистки индиевых электролитов с помощью In (I) следует применять углеродсодержащие сорбенты с высокозавитой поверхностью.

1. *Методы* получения индия, таллия, галлия и рения высокой чистоты / Н. П. Сажин, Н. А. Касаткина, П. А. Резник и др.— В кн.: Труды Гиредмета. М.: Металлургиздат, 1959, т. 1, с. 267—294.
2. А. с. 407506 (СССР). Способ очистки индия от примесей / Л. И. Юрченко, В. Е. Дьяков, И. М. Селиванов и др.— Оpubл. в Б. И., 1978, № 25.
3. А. с. 355876 (СССР). Способ получения индия электролитическим рафинированием / Л. И. Юрченко, С. А. Алексеев, В. Е. Дьяков и др.— Оpubл. в Б. И., 1978, № 25.
4. *Электрохимический метод* рафинирования индия в ванне с диафрагмой и непрерывной очисткой электролита / О. С. Дружинина, Г. П. Мьякинкова, Н. Е. Галкина и др.— В кн.: Труды Гиредмета. М.: Металлургиздат, 1962, т. 6, с. 136—144.
5. *Левин И. С., Заблоцкий Т. В.* Отделение индия от цинка и сопутствующих им элементов экстракцией алкилфосфорными кислотами.— Докл. АН СССР, 1961, 139, № 1, с. 158—159.
6. *Нижник А. Т.* Амальгамный метод получения редких рассеянных металлов.— Там же, 137, № 2, с. 366—368.
7. *Козин Л. Ф.* Амальгамная металлургия.— М.: Техника, 1970.— 191 с.
8. *Шека И. А., Козин В. Ф.* Влияние природы солей на кинетику образования ионов одновалентного индия в системе $\text{In}^0\text{—In}^{3+}\text{—Me}^{n+}\text{—H}_2\text{O}$.— Укр. хим. журн., 1975, 41, № 1, с. 10—15.
9. *Шека И. А., Козин В. Ф.* Изучение кинетики образования ионов одновалентного индия и равновесия в системе $\text{In}^0\text{—InCl}_3\text{—ZnCl}_2$.— Там же, № 8, с. 787—792.
10. А. с. 493437 (СССР). Способ очистки индиевых электролитов от электроположительных примесей / И. А. Шека, В. Ф. Козин.— Оpubл. в Б. И., 1975, № 44.
11. А. с. 266753 (СССР). Способ очистки индиевых растворов / А. Т. Нижник, Л. Г. Агеева, Т. М. Ждановских.— Оpubл. в Б. И., 1970, № 12.
12. *Дьяков В. Е., Семенов А. Е., Селиванов И. М.* Особенность извлечения индия из оловянного сырья.— Цвет. металлы, 1980, № 6, с. 30—31.
13. *Антропов Л. И.* Теоретическая электрохимия.— М.: Высш. школа, 1965.— 175 с.
14. *Справочник химика* / Под редакцией Б. П. Никольского.— М.: Химия, 1964.— Т. 3. 744 с.
15. *Корыта И., Дворжак И., Богачкова В.* Электрохимия.— М.: Мир, 1977.— 472 с.
16. *Батлер Дж. Н.* Ионные равновесия.— Л.: Химия, 1973.— 446 с.
17. *Добощ Д.* Электрохимические константы.— М.: Мир, 1980.— 364 с.

Институт общей и неорганической химии
АН УССР, Киев

Поступила 30.12.80
Вторично — 02.02.83