

УДК 541.1; 621.319.45; 539.53

Влияние электрического потенциала на взаимную растворимость компонентов двухфазного сплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$

Виктор В. Леонов*

*Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 05.08.2008, received in revised form 10.09.2008, accepted 17.09.2008

Опыты проводились на двухфазных сплавах эвтектической системы $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$. Оказалось, что растворимость оксида кадмия увеличивается или уменьшается при температуре отжига 873 К в зависимости от знака и величины потенциала, подаваемого на образец при отжиге.

Ключевые слова: эвтектика, электрический конденсатор, диэлектрические свойства, электрическое поле, электрод, пластины, диффузия, микротвердость, растворимость.

В промышленности чаще используют двух- и многофазные сплавы, чем однофазные. Как известно, изменение свойств сплава достигается изменением взаимной растворимости компонентов при отжиге и при введении новых примесей с разными концентрациями.

Цель данной работы – исследование влияния термического отжига с одновременным воздействием электрического потенциала на образце на растворимость и электрофизические свойства двухфазных сплавов. Опыты проводились на двухфазных сплавах $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$.

Диаграмма состояния системы $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ [1] эвтектического типа с температурой эвтектики 1070 К и содержит 17 моль. % CdO. Наибольшая фаза на основе Bi_2O_3 , в которой при 980 К имеется полиморфное превращение $\alpha \text{Bi}_2\text{O}_3 \leftrightarrow \beta \text{Bi}_2\text{O}_3$. Твердые растворы образуются на основе обеих аллотропных модификаций оксида висмута. Область твердых растворов на основе Bi_2O_3 около 1 моль.% CdO.

Компонентами системы служат полупроводники с низкой подвижностью носителей заряда [2] и малой электропроводностью [3,4]. Согласно работам [2-4] чистый оксид висмута до температуры 973 К является полупроводником p-типа, а оксид кадмия – n-типа. Тип проводимости оксидов обусловлен отклонением от стехиометрии в кристаллах.

1. Методика эксперимента

1.1. Приготовление кристаллов

Для получения образцов эвтектического сплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ были взяты вещества марки ЧДА. Навески взвешивали на аналитических весах с ошибкой 50 мг. Сплавление производили

* Corresponding author E-mail address: leonovvv@inbox.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

на воздухе в печи при температуре 1010 К в алундовых тиглях. После выдержки в течение 4 часов расплав кристаллизовали, охлаждая вместе с печью. Далее для улучшения гомогенности проводили отжиг при температуре 873 К в течение 3 часов. Из полученных слитков вырезали образцы. Одну из сторон образцов шлифовали и полировали с применением оксида титана. Полученный шлиф травили в концентрированной соляной кислоте в течение 5 секунд. Обработка отожженного сплава проводилась по той же методике.

1.2. Аппаратура и методика термического отжига под потенциалом

Установка для отжига состояла из электрического конденсатора и источника высоковольтного напряжения 0 - 4 кВ. Образец помещали на верхнюю обкладку. Обкладки выполнены из нихромовой проволоки диаметром 1,5 мм. Обкладки с образцом вставляли в кварцевую ампулу. Для проведения отжига ячейку помещали в горизонтальную нихромовую печь. В случае необходимости ампулу вакуумировали.

Порядок выполнения операций отжига следующий. Исследуемый образец после контроля свойств помещали в ячейку и в горизонтальную печь, нагретую до необходимой температуры. В нее клали ячейку, а на контакты ячейки подавали высокое напряжение. Образец выдерживали в течение определенного времени, напряжение выключали и ячейку вынимали из печи. Сразу же напряжение на ячейку подавали вновь и производили охлаждение в струе холодного воздуха в течение 5 минут. Закаленные образцы вторично контролировали и затем производили более длительный отжиг и т.д. Размеры ячейки позволяли производить отжиг сразу двух - трех образцов.

Температуру для отжига выбрали 873 К, которая ниже температуры плавления.

1.3. Контроль электрофизических свойств сплавов

Контроль электрических параметров полупроводников производится для оценки состава полученного материала и определения его характеристик. Последние определяются из измерений электропроводности и знака микротермоэдс. Универсальным методом контроля состава является испытание на микротвердость. Измерение микротвердости сплавов проводили на приборе ПМТ-3. В качестве индентора использовали алмазную пирамиду с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями 136°. Периодические измерения микротвердости в процессе отжига проводили в одном и том же поле на шлифе образца. Так как эвтектический сплав $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ имеет мелкодисперсную структуру, то измеряли суммарную микротвердость сплава при нагрузке на индентор 40 г. На каждом образце измеряли десять отпечатков. Относительная ошибка при определении микротвердости равна 6,5 % при доверительной вероятности 0,95.

2. Результаты эксперимента

2.1. Исследование свойств эвтектического сплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ после отжига под потенциалом

Измерения термоэдс показали, что эвтектический сплав $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ является полупроводником n-типа. Инверсия типа проводимости в процессе отжига не наблюдалась.

Результаты измерения микротвердости приведены в табл. 1. На изменение микротвердости существенное влияние оказывает как время отжига до закалки, так и знак и величина потенциала, подаваемого на образец.

В начале процесса при всех напряжениях наблюдается резкое увеличение значения микротвердости. При времени отжига около 45 минут кривые имеют перегиб (-3 и 0 кВ) или максимум (+3кВ). Значения микротвердости для этих точек различны. В случае отжига без потенциала микротвердость, измеренная после окончания отжига, уменьшается всего лишь в 1,03 раза по сравнению с микротвердостью в точке перегиба. Поэтому можно считать, что после 45 минут отжига без потенциала микротвердость остается постоянной в пределах ошибки эксперимента.

При отжиге в заключительной стадии с отрицательным потенциалом на образце микротвердость продолжает увеличиваться и после 45 мин отжига, а при отжиге с положительным потенциалом микротвердость сплава уменьшается. В последнем условии в конце процесса достигается значение микротвердости даже меньше, чем ее значение перед началом процесса.

По данным табл. 1 построили графики зависимости и рассчитали тангенсы углов наклона кривых. Изменение микротвердости от времени отжига разное в разных условиях. Поэтому будем характеризовать изменение тангенсами угла наклона для начала кривых $\text{tg } \alpha$ и в конце кривых $\text{tg } \beta$ с указанием потенциала (кВ), при котором происходил отжиг. Усредненные по 4 образцам тангенсы угла наклона для начала и конца отжига приведены в табл. 2. Теперь количественно становится существенное различие изменения микротвердости от условий процесса.

Таблица 1. Результаты измерения микротвердости H_{μ} ($\cdot 10^7, \text{H}/\text{m}^2$) на образцах эвтектического сплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ в зависимости от электрического потенциала U и времени отжига t

№ образца	U, кВ	t, мин			
		0	30	60	180
1	-3	24,4	26,9	35,3	35,1
2		26,4	32,3	33,5	37,1
3		25,3	36,2	28,7	39,4
4		27,5	26,3	29,3	30,6
5	0	22,5	28,7	31,2	31,8
6		24,5	34,2	33,4	32,2
7		26,5	30,7	34,2	30,3
8		27,0	34,8	33,7	32,4
9	+3	21,9	26,0	25,5	21,9
10		23,6	25,7	27,5	22,5
11		24,1	28,2	30,2	22,7
12		25,0	29,8	24,2	24,2

Таблица 2. Тангенс угла наклона начала и конца кривых зависимости микротвердости эвтектического сплава $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ от времени отжига под потенциалом и их отношение. Усреднение по 4 образцам

Тангенс угла наклона кривой, $10^5, \text{H}/(\text{m}^2 \cdot \text{мин})$	Потенциал образца, кВ		
	-3	0	+3
$\text{tg } \alpha$ (начало)	27,3	24,7	12,6
$\text{tg } \beta$ (конец)	2,1	0,03	-5,1

Например, в начале отжига тангенсы угла наклона одного порядка и имеют положительный знак. В конце же отжига тангенсы угла наклона существенно отличаются не только по модулю, но и по знаку в зависимости от знака потенциала.

Как видим, наибольшая микротвердость достигается после отжига под потенциалом -3кВ, а наименьшая - под +3кВ. Тангенс угла зависимости H_{μ} - τ есть скорость изменения микротвердости. Скорость эта под потенциалом +3кВ равна $\operatorname{tg} \beta(+3) = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ Н}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$, что в 5,1/2,1 = 2,5 раза больше по модулю, чем $\operatorname{tg} \beta(-3)$. Кроме того, $\operatorname{tg} \beta(+3)$ и $\operatorname{tg} \beta(-3)$ отличаются по знаку, где $\operatorname{tg} \beta(0)$, $\operatorname{tg} \beta(-3)$, $\operatorname{tg} \beta(+3)$ - тангенсы угла наклона конца кривых изменения микротвердости от времени после отжига для нулевого, отрицательного и положительного потенциалов, соответственно, на образце сплава.

3. Обсуждение результатов

Исследовали микротвердость сплавов Bi_2O_3 -CdO в двухфазной области и твердых растворов Bi_2O_3 с примесью CdO.

В двухфазной области 1 - 17 моль. % CdO микротвердость сплавов изменяется по линейному уравнению

$$H_{\mu} = (29,2 + 0,28C) \cdot 10^7, \text{ н}/\text{м}^2, \quad (1)$$

где C - содержание CdO (моль.%). Линейное уравнение (1) подтверждает правило аддитивности Курнакова Н.С. для двухфазных сплавов

$$H_{\mu} = H_{\mu_1} V_1 + H_{\mu_2} V_2, \quad (2)$$

где H_{μ} - микротвердость сплава, H_{μ_1} и V_1 - микротвердость и относительный объем фазы Bi_2O_3 , H_{μ_2} и V_2 - микротвердость и относительный объем фазы CdO. По уравнению (1) микротвердость в двухфазной области увеличилась всего лишь на 15 %, т.е. основное влияние на микротвердость двухфазного сплава Bi_2O_3 -CdO оказывает микротвердость фазы на основе Bi_2O_3 . Кроме того, отношение (моль. %) $V_1/V_2 \approx 83/17 = 5$ или $V_1 \gg V_2$. Поэтому уравнение (2) можно упростить примерно до

$$H_{\mu} = H_{\mu_1} V_1 + H_{\mu_2} V_2 \approx H_{\mu_1} \quad (3)$$

Поэтому далее будем рассматривать процессы, происходящие только в фазе Bi_2O_3 .

В связи с этим измерили микротвердость оксида висмута с малым содержанием оксида кадмия <1 моль. %. Микротвердость криволинейно увеличивается с ростом концентрации оксида кадмия. Перелом на кривой при 0,14 моль.% CdO при температуре отжига 873 К, т.е. это и есть растворимость CdO в твердом Bi_2O_3 . В области растворимости тангенс угла наклона γ касательной равен

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta H_{\mu}}{\Delta C} = 69,2 \cdot 10^7, \text{ Н}/(\text{м}^2 \cdot \text{моль.}\%)$$

Тогда, зная изменение микротвердости сплава в процессе отжига под электрическим потенциалом, можно определить изменение растворимости. При отрицательном потенциале на образце имеем:

$$\Delta C_1 = \frac{\Delta H_{\mu}(-3)}{\operatorname{tg} \gamma} = + \frac{2,8 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}}{69,2 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}\%^{-1}} = +0,04 \text{ моль.}\%,$$

а при положительном потенциале –

$$\Delta C_2 = \frac{\Delta H_{\mu}(+3)}{\operatorname{tg} \gamma} = - \frac{5,8 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}}{69,2 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}\%^{-1}} = -0,083 \text{ моль.}\%,$$

где $\Delta n_{\mu(-)}$ и $\Delta n_{\mu(+)}$ - изменение микротвердости после точки излома на кривых микротвердость - время, т.е. для потенциала -3кВ и +3кВ на образце.

Следовательно, при отжиге под потенциалом -3кВ концентрация растворенного CdO увеличивается на 0,04 моль. % или в 1,3 раза, а при отжиге под потенциалом +3кВ уменьшается на 0,083 моль. % или в 2,5 раза.

Оценим возможность такого влияния электрического потенциала на растворимость. Ячейка для испытаний – это плоский электрический конденсатор с кварцевым диэлектриком, у которого $\epsilon = 4,5$. Проведем расчет концентрации электрических зарядов в обкладке конденсатора и в исследуемом образце оксида.

Рассчитаем возможное изменение концентрации носителей заряда на обкладках конденсатора и в исследуемом образце оксида. В заряженном плоском конденсаторе на обкладке образуется избыточная поверхностная плотность зарядов [5].

$$\delta = \frac{\epsilon_0 \epsilon U}{d}, \quad (4)$$

где ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, U - напряжение на конденсаторе, d - толщина диэлектрика. Если принять, что заряды равномерно распределены по толщине h обкладки и на образце, лежащем на обкладке, тогда, деля δ/h , получим избыточную (или недостающую) концентрацию носителей Δn в образце. Проведем расчет при $\epsilon = 4,5$, $U = 3$ кВ, $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 2 \cdot 10^{-3}$ м. В 1 кулоне содержится $0,625 \cdot 10^{19}$ электронов.

$$\Delta n = \frac{\delta}{h} = \frac{\epsilon_0 \epsilon U}{dh} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} (\phi) * 4,5 * 3 * 10^3 (В) * 0,625 * 10^{19}}{2 * 10^{-3} * 2 * 10^{-3} * 10^6 (см^3)} = 6,2 * 10^{10} см^{-3}. \quad (5)$$

Используя значения электропроводности и подвижности основных носителей заряда [2-4], рассчитали их концентрацию в чистых CdO и Bi_2O_3 по формуле

$$n = \sigma(\epsilon\mu)^{-1}, \quad (6)$$

где σ - электропроводность, e - заряд электрона, μ - подвижность носителей заряда. Концентрация электронов в чистом CdO составила

$$n = \frac{10^{-9} ом^{-1} * см^{-1}}{1,6 * 10^{-19} Кл * 5 * 10^3 см^2 (Вс)^{-1}} = 1,25 * 10^6 см^{-3},$$

а концентрация дырок в чистом Bi_2O_3

$$p = \frac{10^{-8} ом^{-1} * см^{-1}}{1,6 * 10^{-19} Кл * 10^2 см^2 (Вс)^{-1}} = 6,2 * 10^8 см^{-3}$$

при комнатной температуре.

Как видим, концентрация носителей заряда в CdO в $6,2 \cdot 10^{10} / 1,25 \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^4$ раза меньше и в Bi_2O_3 в $6,2 \cdot 10^{10} / 6,2 \cdot 10^8 = 10^2$ раза меньше, чем концентрация электронов, создаваемая в фазах образца на обкладке конденсатора при напряжении 3 кВ. Следовательно, большая концентрация носителей заряда в сплаве влияет на взаимную растворимость компонентов двухфазного сплава Bi_2O_3 -CdO. При увеличении концентрации электронов растворимость CdO в Bi_2O_3 увеличивается, и наоборот.

Рассмотрим возможный механизм исследованного нами процесса. Растворимость компонентов сплава друг в друге в большой степени зависит от наличия дефектов в их структуре. Исследования [3, 4, 6] показывают, что n-тип проводимости в CdO обусловлен наличием вакан-

сий и междоузельных атомов кадмия, а р-тип в Bi_2O_3 - вакансиями висмута. Растворение CdO в фазе Bi_2O_3 может идти как по вакансионному, так и по междоузельному механизмам [6-8]. Запишем следующие уравнения квазихимических реакций для этих процессов. Для обозначения дефектов в кристаллической решетке применим символы, предложенные Крегером [9].

$$0 = e^- + h^+, K_j = np \quad (7)$$

$$0 = (V_{\text{Bi}}^0)^{(1)}, K_v = [V_{\text{Bi}}^0]^{(1)} \quad (8)$$

$$(V_{\text{Bi}}^0)^{(1)} = (V_{\text{Bi}}^-)^{(1)} + h^+, K_v = p[V_{\text{Bi}}^-]^{(1)} \quad (9)$$

$$(Cd_{\text{Cd}}^0)^{(2)} = (Cd_i^0)^{(1)}, K_{\text{Cdi}}^{(2)} = [Cd_i^0]^{(2)} \quad (10)$$

$$(Cd_{\text{Cd}}^0)^{(2)} = (Cd_{\text{Bi}}^0)^{(1)}, K_{\text{CdBi}}^{(1)} = [Cd_{\text{Bi}}^0]^{(1)} \quad (11)$$

$$(Cd_i^0)^{(1)} = (Cd_i^+)^{(1)} + e^-, K_{\text{Cdi}}^{(1)} = n[Cd_i^+]^{(1)} / [Cd_i^0]^{(1)} \quad (12)$$

$$(Cd_{\text{Bi}}^0)^{(1)} = (Cd_{\text{Bi}}^-)^{(1)} + h^+, K_{\text{CdBi}}^{(1)} = p[Cd_{\text{Bi}}^-]^{(1)} / [Cd_{\text{Bi}}^0]^{(1)} \quad (13)$$

где e^- - свободный электрон, h^+ - дырка, n и p - концентрация электронов и дырок, V_{Bi} и V_{Cd} - вакансии висмута и кадмия, Cd_i - междоузельный атом кадмия, Cd_{Bi} - атом кадмия в узле подрешетки висмута, K - константы равновесия квазихимических реакций, вид дефекта обозначается круглыми скобками $(^0)^1$ с соответствующим зарядом и местом нахождения в какой фазе, $[\]^{(1)}$ и $[\]^{(2)}$ обозначают концентрацию дефектов в фазах Bi_2O_3 и CdO , соответственно, символ 0 - обозначает совершенный кристалл, верхние индексы в квадратных скобках $[^0]$, $[^+]$ и $[-]$ указывают на заряд дефекта 0 - нулевой, + - положительный, - - отрицательный, концентрации узлов решетки в собственных фазах $[Cd_{\text{Cd}}^0]^{(2)} = 1$ и $[Bi_{\text{Bi}}^0]^{(1)} = 1$.

Условие электронейтральности требует выполнения равенства количества отрицательных и положительных зарядов:

$$n + [Cd_{\text{Bi}}^-]^{(1)} + [V_{\text{Bi}}^-]^{(1)} = p + [Cd_i^+]^{(1)}. \quad (14)$$

После подстановки (10) в (12) и (11) в (13) получим соответственно

$$[Cd_i^+]^{(1)} = K_{\text{Cdi}}^{(1)} K_{\text{Cdi}}^{(2)} / n = p K_{\text{Cdi}}^{(1)} K_{\text{Cdi}}^{(2)} / K_j \quad (15)$$

для растворения по междоузельному механизму и

$$[Cd_{\text{Bi}}^-]^{(1)} = K_{\text{Cd}}^{(1)} / p = n K_{\text{CdBi}}^{(1)} / K_j \quad (16)$$

для растворения по вакансионному механизму.

Из равенства (15) получаем, что при увеличении концентрации электронов растворимость $[Cd_i^+]^{(1)}$ по междоузельному механизму должна уменьшаться. По уравнению (16) увеличение концентрации электронов повышает растворимость $[Cd_{\text{Bi}}^-]^{(1)}$ в Bi_2O_3 по вакансионному механизму, так как наблюдается пропорциональная зависимость между концентрацией растворенной ионизированной примеси и концентрацией электронов. Растворимость оксида кадмия, а следовательно и величина микротвердости сплава, пропорциональны сумме концентраций дефектов:

$$[Cd]^{(1)} = [Cd_i^+]^{(1)} + [Cd_{\text{Bi}}^-]^{(1)}. \quad (17)$$

Из табл. 1 видно, что в конце процесса при увеличении концентрации электронов в сплаве, т.е. при отрицательном потенциале на образце, микротвердость увеличивается. Этот факт в со-

ответствии с уравнением (16) указывает на то, что растворение происходит по вакансионному механизму $[Cd_{Bi}^-]^1$. Уменьшение микротвердости при +3кВ, т.е. при уменьшении концентрации электронов, опять в соответствии с уравнением (16) указывает на уменьшение $[Cd_{Bi}^-]^1$. Следовательно, растворимость Cd в Bi_2O_3 происходит в основном по вакансионному механизму с образованием дефекта $(Cd_{Bi}^-)^1$, а концентрация междоузельных дефектов $[Cd_i^+]^1$ мала.

Выводы

Исследовано влияние отжига при температуре 0,75Тпл под потенциалом на микротвердость двухфазного эвтектического сплава 83 моль. % Bi_2O_3 (большая фаза) и 17 моль. % CdO.

1. Обнаружено, что в процессе отжига:

- без потенциала микротвердость увеличивается и, достигая некоторого значения, остается постоянной до конца процесса;

- с положительным потенциалом на образце кривая изменения микротвердости имеет максимум;

- с отрицательным потенциалом на образцах сплава микротвердость постоянно увеличивается и имеет точку перегиба.

2. Специальное исследование показало увеличение микротвердости оксида висмута (большая фаза) с ростом концентрации примеси оксида кадмия. С учетом этого уменьшение или увеличение микротвердости сплава Bi_2O_3 -CdO после отжига под положительным и отрицательным потенциалом, соответственно, обусловлено уменьшением в 2,5 и увеличением в 1,3 раза растворимости дефекта $(Cd_{Bi}^-)^1$ в большей фазе Bi_2O_3 эвтектического сплава.

3. Изменение взаимной растворимости компонентов двухфазного сплава после отжига под электрическим потенциалом определяется изменением концентраций нейтральных и ионизированных примесных атомов в твердом растворе - фазах сплава.

Список литературы

1. Торопов, Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский и др. - Л.: Наука, 1969. – 824 с.
2. Самсонов, Г.В. Физико-химические свойства окислов / Г.В. Самсонов, А.Л. Борисова, Т.Г. Жидкова и др. - М.: Металлургия, 1978. – 472 с.
3. Золян, Т.С. Электропроводность и термоэдс Bi_2O_3 в жидком и твердом состояниях / Т.С. Золян, А.Р. Регель. -ФТТ, 1963. - Т.5. - №9. - С. 2420-2427.
4. Lamb E.F., Tompkins F.C. Semi-conductivity and thermoelectric of cadmium oxide. Trans. Faraday Soc., v.58, J., p.1424-1438.
5. Ренне, В.Т. Электрические конденсаторы / В.Т. Ренне. - Л.: Энергия, 1969. -591 с.
6. Кофстад, П. Отклонение от стехиометрии, диффузия и электропроводность в простых окислах металлов / П. Кофстад. - М.: Мир, 1975. -397 с.
7. Абдуллаев, Г.Б. Атомная диффузия в полупроводниковых системах / Г.Б. Абдуллаев, Т.Д. Джафаров.- М.: Атомиздат, 1980. - 280 с.
8. Третьяков, В.Д. Твердофазные реакции / В.Д. Третьяков. -М.: Химия, 1978. - 360 с.
9. Крегер, Ф. Химия несовершенных кристаллов / Ф. Крегер. - М.: Мир, 1969. - 654 с.

The Influence of the Electric Potential on the Reciprocal Solubility of the Two-Phase Alloy Bi_2O_3 -CdO Components

Victor V. Leonov
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The experiments were carried out on the two-phase alloys of the eutectic system Bi_2O_3 -CdO. It turned out that the solubility of cadmium oxide increased or decreased at the annealing temperature of 873 K depending on the sign and value of the potential, which is fed to the sample during the annealing.

Key words: eutectic, electrical condenser, dielectric properties, electric field, electrode, plates, diffusion, microhardness, solubility.
