

УДК 539.216.539.26

**В. Ф. Зинченко, Г. И. Кочерба, В. П. Соболев, О. В. Мозговая**

**КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ  
MgF<sub>2</sub> – AlF<sub>3</sub> – NaF И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ  
ПОКРЫТИЙ**

---

**ЗИНЧЕНКО Виктор Федосеевич** – заведующий отделом химии функциональных неорганических материалов, Физико-химический институт им. А.В. Богатского НАН Украины, 65080, Одесса 80, Люстдорфская дорога, 86, e-mail: vfzinchenko@ukr.net; **КОЧЕРБА Григорий Иванович** – главный технолог, СНПП "Новые материалы и технологии"; **СОБОЛЕВ Валерий Петрович** – начальник научно-производственного комплекса – главный технолог по оптике, Казенное предприятие специального приборостроения, г. Киев (КП СПБ "Арсенал"); **МОЗГОВАЯ Ольга Владимировна** – начальник лаборатории оптических покрытий, КП СПБ "Арсенал".

---

*Исследован характер фазовых равновесий в системах MgF<sub>2</sub> – AlF<sub>3</sub> и MgF<sub>2</sub> – Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> и проведено их обоснование с позиций концепции кислотности – основности. Установлено, что добавки легколетучих фторидов алюминия (AlF<sub>3</sub>, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) способствуют получению рентгеноаморфных покрытий с меньшей, чем у исходного MgF<sub>2</sub>, механической прочностью.*

***Ключевые слова:** фториды металлов, фазовый состав, кислотно-основное взаимодействие, тонкопленочные покрытия.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка материалов, обладающих заданными функциональными свойствами, является одним из важнейших научных направлений, определяющих научно-технический потенциал страны. Значительное внимание в оптическом материаловедении и оптическом приборостроении привлекают т.н. пленкообразующие материалы, или материалы для интерференционной оптики. В УФ диапазоне спектра наиболее широко используются в качестве такого рода материалов фториды металлов, их композиты либо сложные фториды [1-5]. Фторид магния, MgF<sub>2</sub> является одним из наиболее распространенных материалов для нанесения покрытий с низким показателем преломления (1.38), прозрачным вплоть до глубокого (вакуумного) УФ диапазона, а именно, 0.115 мкм и, с другой стороны – до 8 мкм. Другим важнейшим представителем материалов этого типа является сложный фторид Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> (технологическое наименование – криолит), прозрачный в широком диапазоне спектра – от 0.13 до 14 мкм. Его компоненты, т.е. AlF<sub>3</sub> и NaF обладают низкой технологичностью, а покрытия из них – незначительной прочностью и климатической стойкостью. Таким образом, криолит благодаря рекордно низкому значению показателя преломления (1.34÷1.35) является одним из наиболее привлекательных материалов для интерференционной оптики. Представляло интерес изучить влияние добавок AlF<sub>3</sub> и Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> на фазовый состав систем на основе MgF<sub>2</sub> и свойства получаемых при их термическом испарении тонкопленочных покрытий.

## **Теоретическая часть**

Фазовый состав и свойства образующихся в системе MgF<sub>2</sub> – AlF<sub>3</sub> – NaF соединений изучены достаточно подробно [6-8]. Соединения в квазибинарной

системе  $MgF_2 - AlF_3$  не установлены, имеется эвтектика с температурой плавления  $\sim 1000^\circ C$ . В аналогичной системе  $MgF_2 - NaF$  обнаружено лишь одно соединение состава  $NaMgF_3$ , конгруэнтно плавящееся при  $1030^\circ C$ . Более разнообразен фазовый состав в системе  $AlF_3 - NaF$ . Кроме уже упоминавшегося выше криолита  $Na_3AlF_6$ , обладающего конгруэнтным характером плавления ( $T_{пл.}=1000-1010^\circ C$ ), следует упомянуть также фазу состава  $Na_5Al_3F_{14}$  (хиолит), плавящуюся по перитектическому типу, т.е. с разложением при  $725^\circ C$ , а также весьма нестабильное соединение состава  $NaAlF_4$  (разлагается в твердой фазе при  $T < 680^\circ C$ ), обладающее наиболее высоким давлением насыщенного пара в системе  $AlF_3 - NaF$ . Стабильными сечениями тройной системы являются  $NaMgF_3 - NaAlF_4$ ;  $NaMgF_3 - Na_3AlF_6$  и  $MgF_2 - NaAlF_4$ , в которых установлено существование инконгруэнтно плавящихся тетрафазных фаз (соединений) состава  $NaMgAlF_6$  и  $Na_2MgAlF_7$  (табл.1).

Таблица 1

**Термические характеристики и параметры основности компонентов и сложных соединений системы  $MgF_2 - AlF_3 - NaF$**

Соединение	$T_{пл.}, ^\circ C$	$T_{кип.}, ^\circ C$	$T_{усл.}, ^\circ C$	$-\Delta F_{298}^0,$ кДж/моль	В
$MgF_2$	1290	2270	1166	1124	0.253
$AlF_3$	возг.	1279*	760	1510	0.104
$NaF$	997	1700	843	577	0.915
$NaMgF_3$	1030	разл.	?	?	0.481
$Na_3AlF_6$	1010	разл.	860	3317	0.536
$Na_5Al_3F_{14}$	725 (инконгр.)	разл.	?	?	?
$NaAlF_4$	разл. $< 680^\circ C$	возг.	565	?	0.481
$NaMgAlF_6$	846	разл.	?	?	?
$Na_2MgAlF_7$	856 (инконгр.)	разл.	?	?	?
$MgO^{**}$	2640	3600	1700	601	0.395
$Al_2O_3^{**}$	2046	2900	2050	1675	0.145
Примечание: * – температура возгонки; ** – примесь.					

Как следует из представленных в табл.1 данных, компоненты тройной системы довольно сильно различаются своими термическими и термодинамическими параметрами, в том числе температурами плавления, кипения и условной (технологической) температуры. Последняя является характеристикой процесса термического испарения в вакууме, а именно: это температура, при которой суммарное давление паров материала составляет  $10^{-2}$  мм. рт. ст., или 1.33 Па [1,2]. Из-за существенного различия  $T_{усл.}$  ожидать конгруэнтного характера испарения образцов тройной системы не приходится.

Попытаемся проанализировать характер фазовых равновесий с позиций концепции кислотности – основности [9,10]. В качестве параметра основности В ранее была предложена расчетная величина размерно-зарядового фактора ионов, составляющих соединение:

$$V_{M-X} = I_{M-X} \cdot z_X \cdot r_M^2 / (z_M \cdot r_X^2), \quad (1)$$

где  $I_{M-X}$ - ионность связи металл-неметалл (фтор) (близкая к 1),  $z_X$ ,  $z_M$ -номинальные заряды аниона и катиона,  $r_X$ ,  $r_M$ - их ионные радиусы (значения последних взяты из [11]). Рассчитанные таким образом значения  $V_{M-X}$  для значительного числа фторидов и оксидов представлены в [10] и приведены в табл. 1 для  $MgF_2$ ,  $AlF_3$ ,  $NaF$ , а также  $MgO$  и  $Al_2O_3$ . Несколько сложнее оказалось оценить значение В для сложных (тройных) фторидов состава

$\text{NaMgF}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и  $\text{NaAlF}_4$ . Для этого было предложено рассчитывать его как среднее геометрическое из значений  $B$  бинарных фторидов с учетом стехиометрического соотношения:

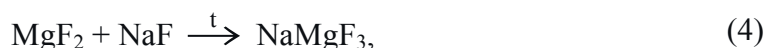
$$\bar{B} = \sqrt[n]{\prod B_i^{n_i}} \quad (2)$$

Соответствующие значения  $B$  приведены в табл.1

Для  $\text{NaAlF}_4$  возможно проведение прямого расчета по уравнению (1). Для этого необходимо воспользоваться значениями термодимических радиусов, приведенных автором [11]. Поскольку значение  $r([\text{AlF}_4]^-)$  в таблице отсутствует, воспользовались значением  $r([\text{BF}_4]^-)$  с перерасчетом на соотношение  $r([\text{AlCl}_4]^-) / r([\text{BCl}_4]^-)$ . В итоге получено значение  $r([\text{AlF}_4]^-) = 2.07\text{\AA}$ , откуда  $B=0.314$ , что достаточно близко к расчетному значению по среднему геометрическому в соответствии с формулой:

$$\bar{B} = \sqrt{B_{\text{NaF}} B_{\text{AlF}_3}} \quad (3)$$

Отсюда можно оценить возможность протекания реакций комплексообразования и обменных реакций в исследуемой системе. Действительно, в случае реакций образования тройных фторидов:

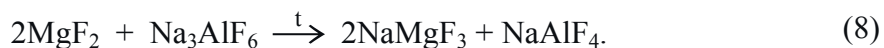


значения разностей  $B$  исходных реагентов составляют, соответственно, 0.662 и 0.811. Таким образом, большее значение  $\Delta B$  соответствует большему химическому разнообразию, т.е. большему числу фаз-продуктов реакции. Термодинамическая оценка последней из реакций ( $\Delta H_{298}^\circ = -76$  кДж/моль) подтверждает вероятность образования термически прочного соединения. Что касается реакций образования более сложных (тетрарных) фторидов по схемам:



значения  $\Delta B$  которых составляют 0.17 и 0.057, то их вероятность уже заметно ниже, что согласуется с фактом их незначительной стабильности.

С позиций концепции кислотности - основности также возможна и оценка вероятности протекания обменной реакции:



Для этого необходимо оценить значения разностей  $B$  для исходных реагентов ( $\Delta B_1$ ) и продуктов реакции ( $\Delta B_2$ ). Расчет дает значения  $\Delta B_1 = 0.283$  и  $\Delta B_2 = 0.171$  для данной реакции, что указывает на значительную вероятность ее протекания.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных материалов исследуемой системы, а именно,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  использовались образцы, полученные в СНПП "Новые материалы и технологии". Синтез осуществляли путем фторирования кислородсодержащих соединений высокой чистоты фторидом аммония. Все

материалы обладали белым цветом. Образцы системы  $MgF_2-AlF_3-NaF$  получали сплавлением исходных материалов в графитовых тиглях, помещенных в индукционную печь.

Их идентификацию проводили методом рентгеновской дифракции порошков на автоматизированной установке ДРОН-3 с использованием  $Cu-K_{\alpha}$  монохроматического рентгеновского излучения (анодное напряжение 30 кВ, сила тока 25 мА, входные щели 2, 4 мм, щель на детекторе 0.1 мм). Дифрактограммы записывали в дискретном режиме: шаг сканирования  $0.05^{\circ}$ , время экспозиции в каждой точке 4с для порошков и 8с для покрытий. Интервал углов дифракционных спектров ( $2\theta$ ) для фазового анализа составлял  $20-70^{\circ}$ ; дифракционные спектры для расчета кристаллической структуры (параметров решеток) получали в полном угловом интервале. Рентгеновский фазовый анализ проводили для каждого исследуемого образца с использованием банка эталонных дифракционных спектров. Относительная ошибка определения периодов кристаллической решетки фаз не превышала 0.3-0.03%.

Тонкопленочные покрытия фторидов металлов наносили на нагретые подложки из различных материалов: оптического стекла К8, кварцевого стекла и др. методом термического испарения подготовленных таблеток в вакуумной установке ВУ-1А при остаточном вакууме  $(2-3) \cdot 10^{-3}$  Па. Испарение проводили резистивным путем из молибденовых испарителей (лодочек-нагревателей), обеспечивающим скорость нанесения покрытия 25-30 нм / мин. Оптическая толщина ( $nd$ ) покрытий составляла 0.8-2.4 мкм. Для определения показателя преломления покрытия из фторидов металлов наносили на клиновидную (угол клина  $\sim 12^{\circ}$ ) пластину из тяжелого стекла марки ТФ4 или ТФ5 с показателем преломления  $n=1.73-1.75$ . Определение  $n$  покрытия проводили на микро-спектрофотометре МСФУ путем измерения коэффициента отражения ( $R$ ) от клиновидной пластины, измеряя экстремальные значения  $R$  на интерференционной картине. Расчет производили по стандартной методике [12].

Коэффициент рассеивания измерялся для покрытия, нанесенного на подложку из кварцевого оптического стекла, подвергнутую глубокому шлифованию и полированию. Измерение проводилось на лазерном стенде с применением He-Ne лазера ( $\lambda=682$  нм) путем определения относительного диффузного отражения от подложки в сфере, покрытой MgO.

Из эксплуатационных свойств покрытий исследовали механическую прочность и термическую стойкость. Механическую прочность покрытий определяли на устройстве СМ-55 методом стирания покрытия резиновым стержнем, обернутым батистовой тканью, по количеству оборотов до начала разрушения покрытия (появления кольцеобразной царапины). Термическую стойкость оценивали по способности выдерживать термический удар в диапазоне перепада температур  $\pm 60^{\circ}C$  за время выдержки 3-5 мин. путем качественной оценки состояния покрытия.

После завершения процесса испарения проводили рентгеновский фазовый анализ остатков после испарения (содержимого лодочек) и тонкопленочных покрытий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения фазового состава образцов систем  $MgF_2 - AlF_3$  и  $MgF_2 - Na_3AlF_6$  и параметров решетки базового материала (стандарта),  $MgF_2$  представлены в табл. 2.

Таблиця 2

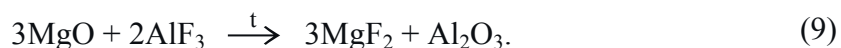
Фазовый состав и структура композитов на основе MgF<sub>2</sub>

Тип образца	Фазовый состав	Параметры решетки MgF <sub>2</sub> , Å	
		а	с
<b>Чистый MgF<sub>2</sub></b>			
Исходный материал	MgF <sub>2</sub>	4.619	3.049
Остаток после испарения	MgF <sub>2</sub>	4.619	3.049
Покрытие	MgF <sub>2</sub>	4.611	3.038
<b>Система MgF<sub>2</sub> – AlF<sub>3</sub></b>			
Исходный материал	MgF <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (следы)	4.619	3.050
Остаток после испарения	MgF <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (следы)	4.620	3.049
Покрытие	MgF <sub>2</sub> + рентгеноаморфн.	4.617	3.035
<b>Система MgF<sub>2</sub> – Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> (5.0 % мол.)</b>			
Исходный материал	MgF <sub>2</sub> , NaMgF <sub>3</sub> +рентгеноаморфн.	4.619	3.049
Остаток после испарения	MgF <sub>2</sub> , NaMgF <sub>3</sub> +рентгеноаморфн.	4.620	3.050
Покрытие	рентгеноаморфное		
<b>Система MgF<sub>2</sub> – Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> (62.7 % мол.)</b>			
Исходный материал	MgF <sub>2</sub> , NaMgF <sub>3</sub> , Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> +рентгеноаморфн.	4.616	3.054
Остаток после испарения	NaMgF <sub>3</sub> , Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> +рентгеноаморфн.	-	-
Покрытие	рентгеноаморфное		

Как и следовало ожидать, синтезированный материал магний фторид, как и остаток, после его испарения состоит лишь из одной фазы – тетрагонального MgF<sub>2</sub> с параметрами решеток, близкими к стандартным значениям и практически совпадающими между собой. Тонкопленочное покрытие имеет кристаллическую структуру того же типа, однако с уменьшенными параметрами решетки MgF<sub>2</sub>. Возможно, это обусловлено внутренними напряжениями в покрытии, а также нельзя исключить эффект наноструктурирования.

Иной фазовый состав имеют образцы системы MgF<sub>2</sub>–AlF<sub>3</sub>. Во-первых, уже заметным становится искажение параметров решеток MgF<sub>2</sub>. Естественным является наличие фазы AlF<sub>3</sub>; однако, несколько неожиданно появление дополнительной фазы, α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, отсутствующей в исходном AlF<sub>3</sub>. Возможно, она возникает при повторном совместном прокаливании (спекании и плавлении) MgF<sub>2</sub> и AlF<sub>3</sub>.

Одним из источников появления Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> может быть обменная реакция между примесью MgO, скрытой в матрице MgF<sub>2</sub>, и фторидом алюминия по схеме:



Термодинамическая оценка указанной реакции ( $\Delta H_{298}^0 = -224 \text{ кДж/моль}$ ) подтверждает принципиальную возможность ее протекания. Прогнозирование с позиций концепции кислотности -основности, а именно, оценка разностей фактора основности ( $\Delta B_1 = 0.291$  и  $\Delta B_2 = 0.108$ ) также говорят в пользу ее значительной вероятности. Возможность подобного рода обменных реакций с "извлечением" MgO в менее реакционноспособную форму показана нами ранее и для других систем на основе фторида магния [13,14]. Покрытие

состоит из кристаллической фазы  $MgF_2$  и аморфной компоненты (скорее всего,  $AlF_3$ ), причем, параметры решетки первой также значительно отличаются от стандартных значений.

Образцы системы  $MgF_2 - Na_3AlF_6$ , содержащие малые (5.0 % мол.) и значительные (62.7 % мол.) количества второго компонента, несколько различаются своим фазовым составом; он, очевидно, определяется протеканием реакции (8) между компонентами, а также избытком непрореагировавшего компонента. Второй из продуктов этой реакции, а именно,  $NaAlF_4$ , очевидно, исчезает из-за полного разложения по схеме:



продукты которого, по-видимому, находятся в рентгеноаморфном состоянии. Наличие фазы  $MgF_2$  при значительном избытке  $Na_3AlF_6$ , очевидно, обусловлено неполнотой протекания реакции (8). В то же время, после интенсивной термообработки при термическом испарении эта фаза исчезает. Параметры решеток фазы  $MgF_2$  во всех случаях достаточно искажены. Неудивительно, что в случае системы  $MgF_2 - Na_3AlF_6$  покрытия целиком рентгеноаморфны, поскольку их основу, видимо, составляют  $NaAlF_4$  с низкой  $T_{усл.}$  (табл. 1) либо продукты разложения этого нестабильного в твердом состоянии соединения. Оптические и эксплуатационные параметры покрытий на основе исследуемой системы весьма различаются (табл. 3).

Таблица 3

Оптические и эксплуатационные свойства покрытий,  
полученных из систем на основе  $MgF_2$

Система	Показатель преломления	Коэффициент рассеяния, %	Механическая прочность, число оборотов (группа)	Термостойкость
$MgF_2$	1.38	0.04-0.06	2500 (1)	+
$MgF_2 - AlF_3$	1.40	0.02-0.05	1000 (3)	+
$MgF_2 - Na_3AlF_6$ , 5.0 % мол.	1.38	0.08-0.10	1000 (3)	+
$MgF_2 - Na_3AlF_6$ , 62.7 % мол.	1.39	0.08-0.10	1500 (2÷3)	+

Так, значения показателя преломления (1.38÷1.40) покрытий близки к таковым для  $MgF_2$  и  $AlF_3$ , заметно отличаясь от соответствующего значения для  $Na_3AlF_6$ , что косвенно указывает на состав и структуру покрытий.

Покрытие, полученное из образца системы  $MgF_2 - AlF_3$ , содержащее в своем составе  $MgF_2$ , заметно уступает по механической прочности покрытию, полученному из чистого  $MgF_2$  (группа 3 и 1, соответственно), что, видимо, связано со значительным содержанием  $AlF_3$  в нем.

В то же время оно отличается меньшим коэффициентом оптического рассеяния, возможно, благодаря реакции (9) с "устранением"  $MgO$ . Покрытия, полученные из образцов систем  $MgF_2 - Na_3AlF_6$ , практически не различаются своими оптическими свойствами; в то же время механическая прочность покрытия, полученного из богатого криолитом образца, обладает более высокой механической прочностью.

## ВЫВОДЫ

Система  $MgF_2 - AlF_3 - NaF$  представляет значительный интерес с точки зрения моделирования и прогнозирования на основе концепции кислотности -

основности. В то же время, прикладное значение системы для оптического материаловедения является неопределенным в связи со значительным различием летучести компонентов и недостаточно высокой термической прочностью образующихся в ней сложных фторидов.

*Досліджено характер фазових рівноваг у системах  $MgF_2 - AlF_3$  і  $MgF_2 - Na_3AlF_6$  і проведено їхнє обґрунтування з позицій концепції кислотності – основності. Установлено, що добавки легколетких фторидів алюмінію ( $AlF_3$ ,  $Na_3AlF_6$ ) сприяють одержанню рентгеноаморфних покриттів з меншою, ніж у вихідного  $MgF_2$ , механічною міцністю.*

**Ключові слова:** фториди металів, фазовий склад, кислотно-основна взаємодія, тонкоплівкові покриття.

*Character of phase equilibria in systems  $MgF_2 - AlF_3$  and  $MgF_2 - Na_3AlF_6$  is investigated and their substantiation from positions of the concept of acidity – alkalinity is carried out. It is established that additives of volatile aluminium fluorides ( $AlF_3$ ,  $Na_3AlF_6$ ) promote reception of X-ray amorphous coatings with smaller, than at initial  $MgF_2$ , mechanical strength.*

**Keywords:** fluorides of metals, phase composition, the acid-alkaline interaction, thin-film coatings.

1. *Окатов М.А.* Справочник технолога-оптика / М.А.Окатов, Э.А.Антонов, А.Байгожин. // Под ред. М.А. Окатова. 2-е изд., перераб. и доп.– СПб.: Политехника, 2004.– 679 с.
2. *Абильситов Г.А.* Технологические лазеры: Справочник в двух томах. Т.2 / Г. А. Абильситов, В. Г. Гонтарь, Ю. А. Горохов и др. // Под общ. ред. Абильситова Г. А. М.: Машиностроение, 1991.– 436 с.
3. *Петровский Г.Т.* Оптические кристаллы и поликристаллы / Г.Т. Петровский, С.Н. Бороздин, В.А. Демиденко, и др.// Оптический журнал. – 1993. – Т.60, №11. – С.77-93.
4. *Friz M and Waibel F.* Coating materials / article\_coating\_materials\_12 June 00.pdf.-P.105-130.
5. *Окатов М. А.* Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Байгожин. // Под ред. М.А. Окатова. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.
6. *Коршунов Б. Г.* Фазовые равновесия в галогенидных системах В. В. Сафонов, Д. В. Дробот.– М.: Металлургия, 1979.– 182 с.
7. *Коршунов Б. Г.* Галогенидные системы. / Б. Г. Коршунов, В. В. Сафронов. – М.: Металлургия, 1984 – 304 с.
8. *Коршунов Б. Г.* Галогениды. Диаграммы плавкости. Справочник / Б. Г. Коршунов, В. В. Сафонов.– М.:Металлургия, 1991.– 288 с.
9. *Зинченко В. Ф.* Оптимизация состава пленкообразующих материалов и свойств тонкопленочных покрытий интерференционной оптики на основе принципа основности–кислотности / В. Ф. Зинченко, Е. В. Тимухин., В. П. Соболев // Оптический журнал. – 2012. – Т.79, №7. – С. 75-83.
10. *Зинченко В. Ф.* Основность-кислотность и растворимость фторидов и оксидов металлов в солевых расплавах / В. Ф. Зинченко, Е. В. Тимухин, С. А. Павлинчук // Электрохимия.– 2012. – Т. 48, № 10. – С. 1100-1104.
11. *Хьюи Дж.* Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. Пер. с англ. -М.: -Химия, 1987, 696 с.
12. *Зінченко В. Ф.* Оптичні і експлуатаційні властивості тонкоплівкових покриттів, отриманих методом вакуумного випаровування фторидів РЗМ / В. Ф. Зінченко, Н. П. Єфрюшина, Г. І. Кочерба и др.// Фізика і хімія твердого тіла.–2001.–Т.2, №3.–С.351–360
13. *Зінченко В. Ф.* Оптичні та експлуатаційні властивості тонкоплівкових систем інтерференційної оптики (огляд) / В. Ф. Зінченко, В. П. Соболев, Г. І. Кочерба и др.// Фізика і хімія твердого тіла.–2007.–Т.8, №3.–С.441-450.
14. *Zinchenko V.* Fluorides of some s-, p-, d-, and f-metals as perspective materials for interference optics: present status and development / V. Zinchenko // Journal of Fluorine Chemistry.– 2010.– V. 131, iss. 2.– P.159-164.