

1. Азьян Ю. М., Мигулин В. В. «Радиотехника и электроника», 1956, 1, вып. 4, 418.
2. Азьян Ю. М., Снигирев О. В., Мрктумов А. С. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. III, физ., astron.», 1972, 13, № 1, 99.
3. Кугушев А. М., Голубева Н. С. Основы радиоэлектроники. М., 1969, с. 643 и 630.
4. Яворский Б. М., Деллаф А. А. Справочник по физике. С., 1968. с. 460.

Поступила в редакцию
26.1 1976 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 535.324

Ф. А. КОРОЛЕВ, А. Ю. КЛЕМЕНТЬЕВА, С. И. САГИТОВ

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ Na_3AlFe_6 , PbF_2 , As_2S_3 , ПОЛУЧЕННЫХ В ВЫСОКОМ И СВЕРХВЫСОКОМ ВАКУУМЕ

В связи с широким применением тонкопленочных интерференционных систем в приборостроении в настоящее время большое внимание уделяется изучению зависимости свойств пленок (оптических, механических и других) от физических условий в процессе их осуществления.

Так, в ряде работ [1—5] изучалась зависимость показателя преломления, плотности, коэффициента упаковки различных пленок от величины вакуума, скорости испарения и состава остаточных газов. Наличие остаточных газов влияет на пленку двояко, внося загрязнения в покрытие и оказывая воздействие на структуру слоя; при этом пленка образуется тем более пористой и рыхлой, чем хуже вакуум [6]. Подобные исследования проводились в диапазоне от 10^{-8} до 10^{-6} мм рт. ст.

С развитием техники сверхвысокого вакуума появилась возможность получить пленки в наиболее «чистых условиях», когда остаточные газы играют несравнимо меньшую роль в процессах роста и образования структуры тонкой пленки, следовательно, в условиях, способствующих образованию наиболее плотных пленок, сильнее связанных с подложкой. Поскольку с этими явлениями связана более высокая стойкость и стабильность покрытий, то изучение свойств покрытий при переходе к сверхвысокому вакууму представляет определенный интерес. Такое исследование свойств было проведено для фтористого магния MgF_2 [7].

В нашей работе определялись и сравнивались показатели преломления пленок криолита Na_3AlF_6 , фтористого свинца PbF_2 и трехсернистого мышьяка As_2S_3 , полученных в вакууме 10^{-5} и 10^{-8} мм рт. ст. Чтобы проследить влияние одного фактора — глубины вакуума, мы стремились сохранить равенство всех остальных параметров: скорости испарения, температуры подложки, состава испаряемых материалов, толщины наносимых слоев. Обычно на практике недооценивается влияние скорости нанесения покрытия, тогда как эта скорость коренным образом влияет на свойства слоев. Так, при высоких скоростях нанесения покрытий > 20 А/с неизбежен перегрев источника испарения, в результате чего наблюдается частичный распад молекул вещества [4, 7], загрязнение пленки и ухудшение ее оптических свойств. Скорость нанесения веществ в нашей работе составляла 20 А/с при расстоянии от источника испарения ~ 250 мм. Толщина слоев составляла $7 \lambda/4$ вблизи $\lambda = 9000$ А.

Для определения показателя преломления покрытия были использованы соотношения, связывающие коэффициенты пропускания однослойного покрытия в экстремуме с показателями преломления слоя и подложки, приведенные в [8]. Приводимая формула имеет место в участках спектра, где поглощением веществ можно пренебречь:

$$n = \sqrt{\frac{n_0}{T_0}} \cdot (1 + \sqrt{1 - T_0}),$$

n_0 — показатель преломления подложки, а T_0 — значение коэффициента пропускания слоя в экстремуме. В расчете учитывались поправки, которые появляются из-за присутствия второй поверхности подложки, на которую нанесены слои, а также вследствие

многократных отражений внутри пластины. Измеренная величина коэффициента пропускания пластины со слоем записывается следующей суммой:

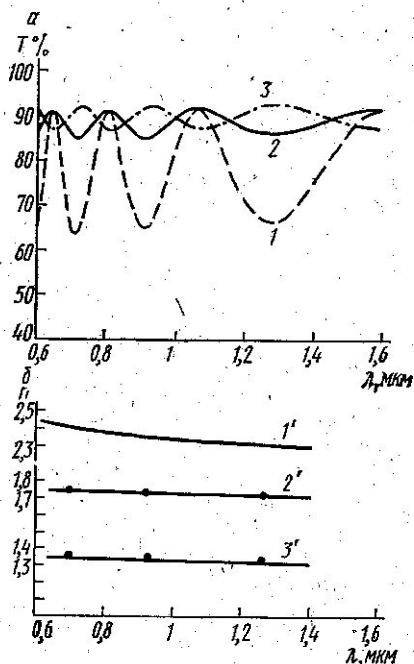
$$T_{\text{измер}} = T_2 T_2 + T_2 T_2 \alpha + T_2 T_2 \alpha^2 + \dots,$$

где T_2 — коэффициент пропускания второй поверхности подложки; α является произведением коэффициентов отражения первой поверхности со слоем и второй свободной поверхности. Члены суммы, включающие α , составляют поправку. Величина второго слагаемого имеет малое значение в случае криолита Na_3AlF_6 на флинт, она составляет 4×10^{-5} и может не считаться. В случае фтористого свинца PbF_2 на подложке К-8 поправка составляет $\sim 0,003$ и должна быть учтена. Поправка возрастает с увеличением n пленки и для As_2S_3 она составляет 0,0110.

Спектральные кривые пропускания веществ в близкой инфракрасной области, по которым определялись показатели преломления веществ, показаны на рис. 1, а. В участке спектра от 0,6 до 1,6 мкм криолит имеет ряд максимумов, соответствующих условию $nh = (2k+1)\lambda/4$, а PbF_2 и As_2S_3 имеют ряд минимумов при $nh = (2k+1)\lambda/4$. Внизу на рис. 1, б приведены кривые дисперсии показателей преломления веществ (точками отмечены значения показателей преломления, относящихся к пленке, нанесенной в сверхвысоком вакууме). Точность определения показателей преломления составляла 0,005.

Рассмотрение полученных данных приводит к выводу, что покрытия, полученные как в высоком, так и сверхвысоком вакууме, ха-

а: спектральные кривые пропускания однослойных покрытий Na_3AlF_6 , PbF_2 и As_2S_3 . Оптическая толщина слоев $\sim 7\lambda_0/4$, $\lambda_0 = 9000\text{Å}$, вакуум 10^{-8} мм рт. ст. б: кривые дисперсии n к λ телепреломления Na_3AlF_6 , PbF_2 и As_2S_3 .



актеризуются высокими значениями коэффициентов преломления, что обусловлено значительной скоростью испарения материалов. Показатели преломления веществ близки к значениям n для массивных образцов. В случае фтористого свинца показатель преломления в близкой инфракрасной области изменялся, составляя величину 1,71 — 1,74 (сравни с показателем преломления массивного образца $n_D = 1,76$). При переходе к сверхвысокому вакууму нам не удалось обнаружить существенного роста n для PbF_2 , очевидно, по той причине, что это вещество в условиях более низкого вакуума образует достаточно плотные слои. В случае криолита эффект перехода к более высокому вакууму был значителен. Показатель преломления слоя возрос на 0,02, достигая величины 1,36—1,375. Этот результат согласуется с более ранними работами, выполненными с криолитом в вакууме от 10^{-4} до 10^{-6} мм рт. ст., показавшими, что с улучшением вакуума показатель преломления возрастает от 1,32 до 1,36. Известная гигроскопичность криолитовых пленок [9] должна приводить к преимущественному росту n пленок, полученных в более низком вакууме. Указанное явление, возможно, несколько снизило эффект увеличения n , поскольку измерения проводились на 2—3-й день после изготовления покрытий. Измерения непосредственно после изготовления позволят обнаружить в дальнейшем эффект более точно.

В случае трехсернистого мышьяка As_2S_3 , часто применяемого в инфракрасной технике [10], показатели преломления пленок составляют величину от 2,35 до 2,45 (см. рис. 1, б), что несколько ниже величины для массивного образца (от 2,44 до 2,49). Авторы полагают, что это связано с тем, что образцы покрытий As_2S_3 были получены в более низком вакууме, а именно: в начале процесса испарения вакуум составлял 10^{-8} и понижался затем до значения 5×10^{-7} мм рт. ст.

Переход к сверхвысокому вакууму, как показывают результаты работы, ведет к росту показателя преломления пленки, различному для разных веществ. Этот эффект значителен и его необходимо учитывать в практическом осуществлении многослойных

систем так же, как влияние скорости нанесения пленки и температуры подложки. Получение наиболее плотных «чистых» слоев с максимально высоким коэффициентом преломления, упаковки и другими параметрами обусловлено несколькими факторами: глубоким вакуумом, скоростью нанесения и температурой подложки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bourg M., Philip R. «Le Vide», 1964, 227, 112.
2. Pulker H. K., Zamminer C. H. «Thin Solid. films.», 1970, 5, 421.
3. Honcia G., Krebs K. «Z. fur. Phys.», 1959, 156, 117.
4. Heitmann W., Ritter E. «Appl. Optics», 1968, 7, N 2, 307.
5. Heitmann W. «Thin Solid films», 1970, 5, N 1, 61.
6. Dell H. A. «Proc. Phys. Soc. sec.», 1949, B62, N 350B, 6.
7. Hasman D. «Optica Acta», 1970, 17, 659.
8. Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. М., 1958, с. 121.
9. Pulker H. K., Young E. «Thin solid films.», 1969, 4, N 3, 219.
10. Young P. A. «Thin solid films.», 1970, 6, N 6, 423.

Поступила в редакцию
1.11 1974 г.

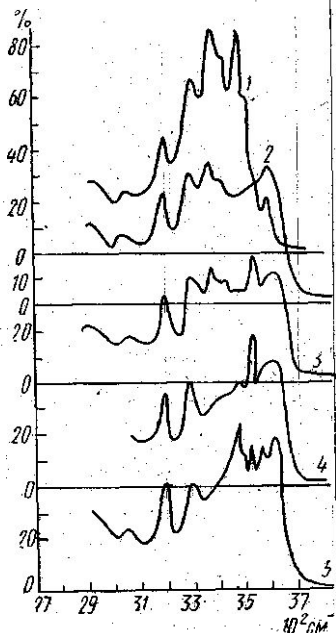
Кафедра оптики

УДК 669—409:539.16.04

В. Г. ЗУБОВ, Л. П. ОСИПОВА, Н. Д. КУНДИКОВА

ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ, ОБЛУЧЕННОМ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

В инфракрасных спектрах поглощения α -кварца в области 3000 см^{-1} проявляются валентные колебания гидроксильных групп, различным образом расположенных в кристаллической решетке. Ион водорода главным образом связан с кислородом, принадлежащим «дефектному» тетраэдру, в котором Si^{4+} изоморфно замещен на Al^{3+} . При этом образуется $(\text{Al}(\text{OH}/\text{Me})$ дефект [1]. Кислород кроме иона водорода может присоединить и ион щелочного металла [1—3]. В таком случае образуется $\text{Al}(\text{OH}/\text{Me})$ дефект [1]. От типа примеси зависит частота и интенсивность соответствующих полос. При увеличении атомного веса примеси частота валентных колебаний гидроксильных групп увеличивается [2, 4].



При облучении кварца ионизирующей радиацией и быстрыми нейтронами наблюдается изменение спектров поглощения [1, 4—7]. Основными причинами чувствительности спектров поглощения к облучению является радиационно-стимулированное движение примеси ионов щелочных металлов [1, 8] и аморфизация кристаллической матрицы [4, 7]. При нагревании облученных кристаллов до температуры 500°C [4]— 900°C [6] наблюдается восстановление спектров, измененных при облучении. Поскольку при увеличении температуры увеличивается скорость диффузии примесных ионов, процессы, происходящие при отжиге, так же должны быть связаны с движением примеси. В литературе, как правило, приводится лишь температура, при которой происходит полное восстановление интенсивности и структуры спектра поглощения в области 3000 см^{-1} [1, 4, 6] и не затрагивается вопрос об изменении спектра на промежуточных этапах.

В настоящей работе изучается влияние отжига при температуре 250; 300 и 400°C на спектры поглощения в области 3000 см^{-1} кварца, облученного интегральным потоком быстрых нейтронов $4 \times 10^{18}\text{ н/см}^2$.

Отжиг проводился по следующей методике. Образец со скоростью $0,5\text{—}2^\circ\text{C}$ в минуту нагревался до температуры отжига, при этой температуре образец выдерживался 3—5 ч и вновь