

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ФОСФОРА $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ ИОНАМИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ

Т. В. Казачевская и Ю. М. Смирнов

Проведено первое экспериментальное исследование возбуждения термолюминесценции фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ под действием ионов тепловых энергий (< 40 эВ) атмосферных газов. Измерена величина коэффициента эффективности, равная $K = 3 \cdot 10^{-4}$ кв./ион.

Введение

Термолюминесцентный фосфор $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ обладает высоким световым выходом при возбуждении свечения коротковолновым излучением ($\lambda < 1300 \text{ \AA}$), а также β - и γ -излучением и используется в качестве детектора в дозиметрической и геофизической аппаратуре. При использовании термофосфора для измерения ионизирующих излучений в верхней атмосфере в аппаратуре типа «Фосфор» [1] существенно учитывать, не влияет ли окружающая плазма на измерения. В настоящее время проведены широкие исследования возбуждения термолюминесценции фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ как коротковолновым излучением в диапазоне длин волн от 1 до 1360 \AA [2], так и частицами: электронами [3-6], протонами [7], а также ионами с энергией в несколько КЭВ [8]; однако для ионов меньших энергий таких данных не имеется.

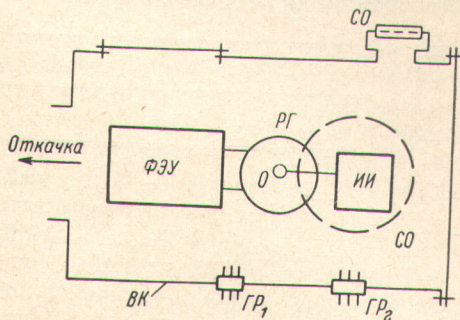
Нами проведено экспериментальное исследование термолюминесценции фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ и определение энергетического (квантового) выхода фосфора K при возбуждении ионами с энергиями < 40 эВ атмосферных газов.

Методика измерений

Для проведения эксперимента использовалась вакуумная камера объемом 60 л из нержавеющей стали, откачиваемая агрегатом ВА-05-1. Внутри вакуумной камеры (см. рисунок) располагались источники ионов ИИ, блок детекторов прибора «Фосфор» РГ со сменными керамическими пластинками, покрытыми термофосфором, а также герметичный баллон из нержавеющей стали, внутри которого находился фотоумножитель с делителем напряжения. Источник ионов помещался на траверзе, посаженной на вал O , проходящий сквозь стенку камеры. Вакуумный ввод движения позволял поворачивать вал на угол около 120° , вследствие чего можно было как экспонировать пластинки с термофосфором, так и направлять пучок ионов на вспомогательные коллекторы, не изменяя режим работы источника ионов. Три смотровых окна CO позволяли визуально контролировать положение источника ионов и его функционирование. Для питания источника ионов и прибора «Фосфор» на вакуумной камере установлены герморазъемы $ГР_1$ и $ГР_2$.

Источник ионов представлял собой источник с ионизацией электронным ударом (типа Нира). Энергия, с которой ионы достигали термофосфора, определялась величиной регулируемого потенциала, приложенного между

экранной сеткой, сквозь которую выходили ионы из источника, и полупроводниковой подложкой, нанесенной на пластинку под слоем термофосфора. Между корпусом установки и экранной сеткой прикладывалась регулируемая разность потенциалов, в то время как потенциал пластинки практически не отличался от потенциала корпуса. Ток ионов, достигающих термофосфора, измерялся прибором, включенным в цепь пластинка—корпус, и мог регулироваться в пределах $10^{-6} \div 10^{-9}$ А или запирались полностью. Для подавления тока рассеянных электронов была введена супрессорная сетка, имевшая потенциал на $3 \div 5$ В ниже потенциала катода, энергия электронов сверху была ограничена значением $25 \div 30$ эВ.



ВК — вакуумная камера; ИИ — источник ионов; О — вал крепления источника ионов; РГ — блок детекторов прибора «Фосфор»; ФЭУ — фотоумножитель и электронный блок прибора «Фосфор»; СО — смотровые окна; ГР₁ и ГР₂ — герморазъемы.

Поскольку термофосфор находится в зоне прямой видимости области ионизации, возникает существенный вопрос о роли нейтральных частиц в его возбуждении (это могут быть атомы кислорода и азота, находящиеся в основном или метастабильных состояниях). Для выяснения роли нейтральных частиц была установлена антидинаatronная сетка, на которую мог быть подан большой положительный потенциал, достаточный для запираения ионного пучка. Наличие остаточного возбуждения в этих условиях (при отсутствии как электронного, так и ионного тока на пластинку) должно было указывать на возбуждение термофосфора нейтральными частицами.

Регистрация запасенной светосуммы

После экспонирования потоком ионов пластинка с фосфором по команде от управляющего блока специальным механизмом выводилась из зоны облучения и устанавливалась перед фотоумножителем (ФЭУ-35), где при нагревании происходило полное высвечивание фосфора. Затем перед входным окном для экспонирования устанавливалась следующая пластинка и т. д. Экспозиция составляла $\sim 11.5-12$ с. Сигнал на выходе прибора «Фосфор» регистрировался на ленте самопишущего потенциометра типа ЭПП-09.

Чтобы выразить высвеченную фосфором светосумму в абсолютных единицах, производилась градуировка светового потока по эталону с известной яркостью из $K_2UO_3(SO_4)$ с максимумом свечения в области $\lambda=500$ нм, изготовленному и градуированному в Государственном оптическом институте [9].

Результаты измерений. В эксперименте возбуждение фосфора $CaSO_4-Mn$ ионами производилось таким образом, что на пластинки с фосфором подавались значения потенциала по отношению к экранной сетке ($U_{пл.}$) от -40 до $+13.5$ В. Для случая положительного значения потенциала ($U_{пл.} > 0$) ионы задерживались полностью и на фосфор попадали только вторичные электроны, возникавшие в результате эмиссии из экранной и супрессорной сеток под действием электронной бомбардировки, а также нейтральные частицы; при отрицательных значениях потенциала на пластинку попадали только ионы. Для каждого значения $U_{пл.}$ было выполнено около 20 измерений. Условия проведения эксперимента были достаточно стабильными, и серии измерений, проведенные в разные дни, хорошо согласуются между собой. Погрешность в определении светосуммы не превышала $8-10\%$, а погрешность в определении количества частиц, попавших на пластинку, была не выше 3% .

Результаты измерений представлены в таблице, где для каждого значения задерживающего потенциала $U_{пл.}$ (столбец 1) приведены потоки частиц N (столбец 3) и соответствующие средние значения светосумм Σ (столбец 4), высвеченных фосфором при термолюминесценции. В последнем столбце приводится значение «коэффициента эффективности» $K = \Sigma/N$.

$U_{пл.}, В$	Ионы	$N, 1/см^2 \cdot с \cdot 10^{10}$	$\Sigma, кв./см^2 \cdot с \cdot 10^6$	$K, кв./ион$
1	2	3	4	5
-40	+	8.7	29	$3.5 \cdot 10^{-4}$
	-	—	1	—
-13.5	+	7.5	27	$3.6 \cdot 10^{-4}$
	-	—	0.5	—
0	+	3.1	15	$4.8 \cdot 10^{-4}$
	-	—	0.6	—

Измерения светосуммы проводились как при наличии ионного тока на пластинку, так и при его «запирании» потенциалом антидинаatronной сетки. Эти случаи отмечены знаками «+» и «-» в таблице (столбец 2).

Проанализируем полученные результаты.

1. Для всех отрицательных значений потенциала ($U_{пл.} = -40, -13.5$) и для $U_{пл.} = 0$ светосумма для пластинок при «открытом» пучке потока ионов примерно в 30 раз больше, чем для «закрытого» пучка. Это означает, что ионы дают основной вклад в светосумму. Для этих значений потенциалов эффективность возбуждения фосфора ионами получилась одного порядка, а именно, $K = 3.5 \cdot 10^{-4}$ кв./ион и, по-видимому, не зависит от энергий ионов.

2. Для тех же значений потенциалов в случае «закрытого» пучка ионов зарегистрирована небольшая светосумма $\Sigma = (0.5-1) \cdot 10^6$ кв./см²·с, по-видимому, обусловленная термолюминесценцией фосфора под действием небольшого количества вторичных электронов и возбужденных нейтральных частиц, находящихся в пучке. Поскольку количество возбужденных частиц не поддается надежной оценке, нельзя сделать вывод об эффективности возбуждения фосфора в этом случае.

3. Для положительного потенциала на пластинке $U_{пл.} = +13.5 В$, когда на фосфор попадали только электроны, зарегистрирована одинаковая светосумма для случая «открытых» и «закрытых» ионов. Это являлось контролем эксперимента. Полученная эффективность $K = 10^{-4}$ кв./ион с точностью до фактора 2 совпадает с проведенными нами измерениями эффективности возбуждения фосфора электронами энергий $E_e = 50-55$ эВ (именно такова максимальная энергия вторичных электронов в этом случае). Такое совпадение можно считать хорошим, так как для этой области энергии электронов наблюдается очень сильная зависимость эффективности возбуждения от энергии.

Сравним полученные нами данные об эффективности возбуждения термолюминесценции ионами тепловых энергий с данными об эффективности возбуждения этого фосфора другими частицами: термолюминесценция при возбуждении ионами «средних» энергий $E = 6$ кэВ, согласно [8], дает эффективность $K = 1$ кв./ион. Электроны тех же энергий дают эффективность $K = 60$ кв./эл., согласно измерениям [2, 3], а для электронов меньших энергий эффективность монотонно уменьшается, достигая, по нашим измерениям, величины $K = 2 \cdot 10^{-9}$ кв./эл для энергии $E = 20$ эВ. Вероятно, что механизм возбуждения термолюминесценции электронами и ионами «средних» энергий существенно отличается от механизма возбуждения тепловыми ионами. Если в первом случае происходит объемное возбуждение кристаллофосфора, доминирующими являются первичные процессы и весьма существенна кинетическая энергия частиц, то в случае ионов тепловых энергий возбуждение идет только в поверхностном

слое, кинетическая энергия мала и, по-видимому, не играет заметной роли. Это говорит о том, что при воздействии ионов тепловых энергий, вероятно, работает поверхностный радикало-рекомбинационный механизм, вызывающий термолюминесценцию фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ аналогично процессам радикало-рекомбинационной люминесценции, описанной, например, в [10].

Обсудим вопрос об «отравлении» (старении) фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ при бомбардировке ионами, как это наблюдалось авторами [8] при работе с ионами щелочных металлов. При выполнении нашего эксперимента не обнаружено заметного «отравления» на протяжении нескольких часов экспозиции в потоке ионов. Старение фосфора, описанное в работах [8], вероятно, было вызвано большой химической активностью щелочных металлов и необратимыми процессами изменения состава фосфора.

В нашем эксперименте фосфор бомбардируется ионами NO^+ , N_2^+ , O_2^+ , O^+ и т. п., которые не могут изменить его химический состав и структуру, а рекомбинируя непосредственно на поверхности, возвращаются в объем камеры в форме исходных газов.

В заключении подведем итог. В настоящей работе проведено первое экспериментальное исследование возбуждения термолюминесценции фосфора $\text{CaSO}_4\text{-Mn}$ под действием ионов тепловых энергий (< 40 эВ) атмосферных газов. Измерена величина коэффициента эффективности, равная $K = 3.5 \cdot 10^{-4}$ кв./ион.

Авторы благодарны Г. С. Иванову-Холодному и В. Я. Ясколко за полезную дискуссию.

Литература

- [1] Т. В. Казачевская. Космические исследования, 5, № 4, 637, 1967.
- [2] В. А. Архангельская, Т. К. Разумова. Опт. и спектр., сб. 3, «Люминесценция», 299, 1963.
- [3] Т. В. Казачевская, В. Г. Коваленко, Б. М. Поленов, В. В. Селантьев. Космические исследования, 9, № 2, 317, 1971.
- [4] Т. В. Казачевская, В. В. Селантьев, И. А. Шах-Мелихова. Тр. ЦАО, вып. 11, 3, 1972.
- [5] Б. М. Носенко, Л. С. Ревзин, В. Я. Ясколко, А. Р. Красная. Изв. АН СССР, сер. физ., XXV, № 3, 1961.
- [6] Б. М. Носенко, Л. С. Ревзин, В. Я. Ясколко. Опт. и спектр., 3, 365, 1957.
- [7] Г. С. Видякин, Т. В. Казачевская, Л. С. Новиков. Опт. и спектр., 32, 1148, 1972.
- [8] Б. М. Носенко, И. А. Струков. Изв. АН СССР, сер. физ., XXV, № 3, 1961.
- [9] Т. В. Тимофеева. ДАН СССР, 47, 575, 1945.
- [10] В. А. Соколов. Кандолуминесценция. Изд. Томского унив., Томск, 1967.

Поступило в Редакцию 2 июня 1975 г.