

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.224 : 537.226

Журнал технической физики, т. 57, в. 9, 1987

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЭП

В. И. Олешко, В. Ф. Штанько

Авторами [1] при облучении ионных кристаллов сильноточным электронным пучком (СЭП) обнаружен новый вид свечения, отличительными свойствами которого являются широкий бесструктурный спектр, короткое время высвечивания и независимость от темпера-

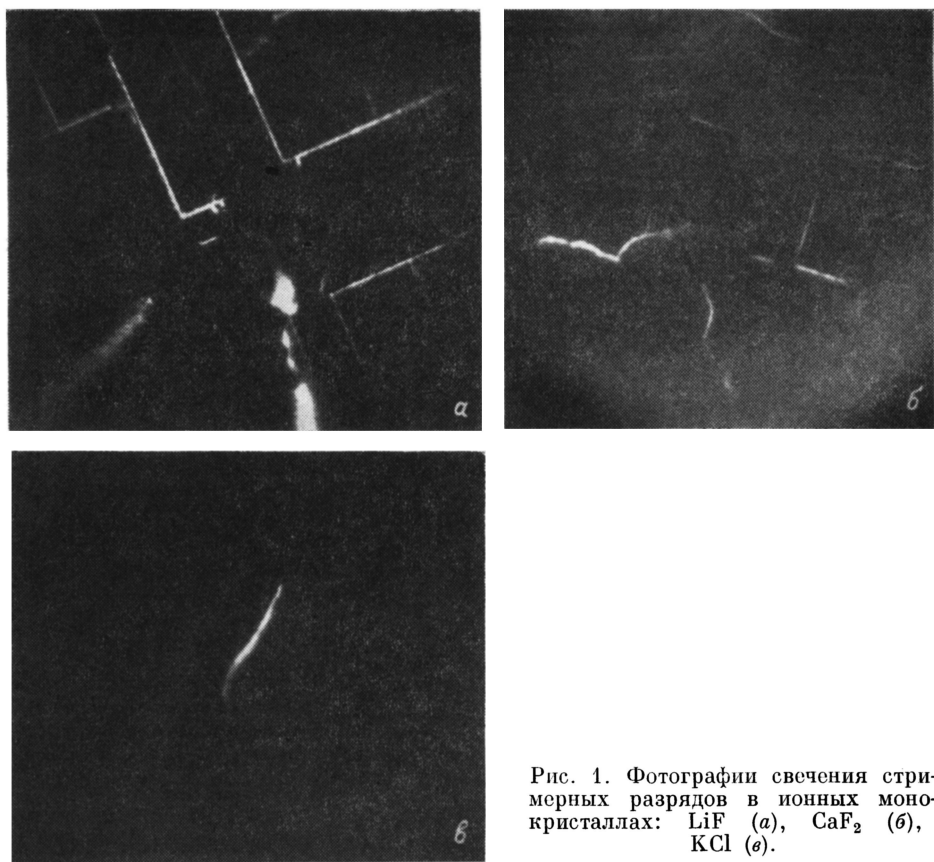


Рис. 1. Фотографии свечения стримерных разрядов в ионных монокристаллах: LiF (а), CaF₂ (б), KCl (е).

туры. В настоящее время нет единого мнения относительно природы появления этого свечения. В [1] высказана гипотеза о том, что источником наблюдаемого свечения является плотная электронно-дырочная плазма. В [2] данное свечение было связано с излучательными переходами внутри зоны проводимости, а в [3] — с излучением релаксирующих электронно-дырочных возбуждений в запрещенной зоне кристалла.

В настоящей работе впервые установлено, что свечение с подобными характеристиками возникает в ионных кристаллах в результате формирования плазмы в микроканалах электрического пробоя, развивающихся в области торможения СЭП.

Для исследований использовался импульсный ускоритель электронов на базе ГИН-400 с параметрами: средняя энергия электронов 300 кэВ, длительность импульса тока пучка на полувысоте 12 нс. Плотность энергии СЭП регулировалась в пределах $W \approx 0.007 \div 2.5$ Дж/см². Для визуальной, фотографической и фотоэлектрической регистрации свечения использовался микроскоп МПД-1 с установкой импульсной спектрометрии. Измерения проводились в спектральной области 350—650 нм.

Установлено, что многократное воздействие СЭП на ионные кристаллы приводит к формированию каналов электрического пробоя в зоне торможения электронного пучка. Основные закономерности появления и спектрально-кинетические характеристики свечения каналов пробоя приведены ниже для монокристаллов LiF.

Серия последовательных импульсов облучения монокристалла приводит к иницированию и развитию сети каналов электрического пробоя в зоне торможения электронов пучка с характерным плазмменным свечением. При этом увеличение количества импульсов воздействия сопровождается лишь увеличением линейных размеров (диаметра и длины) каналов без увеличения плотности выходов каналов на облучаемую поверхность образца. Увеличение плотности энергии СЭП от 0.007 до 0.8 Дж/см² приводит к некоторому уменьшению плотности вы-

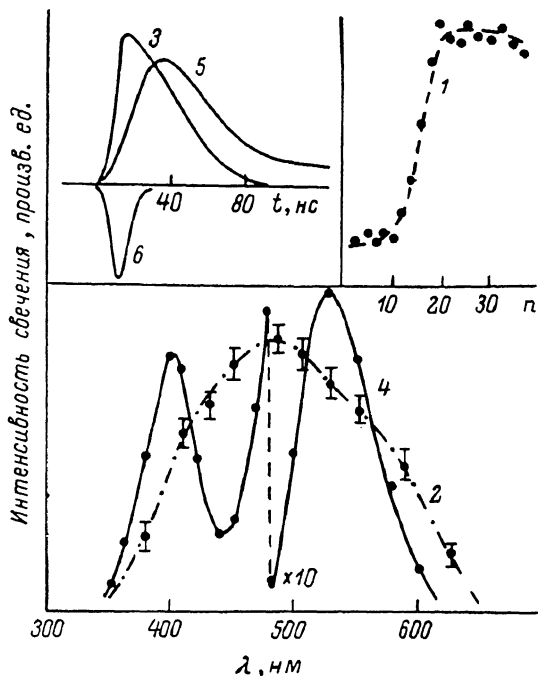


Рис. 2. Спектрально-временные характеристики свечений, наблюдаемых в LiF в зоне торможения СЭП.

ходов каналов на облучаемую поверхность и увеличению скорости роста линейных размеров каналов.

На рис. 1, а приведена микрофотография фрагмента кристалла LiF в зоне разветвления каналов электрического пробоя, выделенной с помощью микроскопа и зарегистрированной за один импульс возбуждения при $W=0.4$ Дж/см², а на рис. 2, 1 представлена зависимость интенсивности свечения этой зоны в серии последовательных импульсов облучения. Скорость нарастания интенсивности свечения в области $\lambda=450$ нм согласуется с увеличением линейных размеров каналов пробоя и возрастает при увеличении плотности падающей энергии СЭП. Измерение спектральных и временных параметров свечения каналов пробоя производилось путем выделения (в увеличенном изображении) одного канала с помощью диафрагмы. На рис. 2 представлены спектр излучения и кинетика свечения микроканала, зарегистрированная в $\lambda=450$ нм (кривые 2, 3), спектр и кинетика объемного интегрального свечения кристалла LiF (кривые 4, 5). Сопоставление результатов показывает резкое отличие спектрального состава и временных параметров свечения каналов и объемного свечения. Действительно, спектр свечения каналов пробоя сплошной, в то время как объемное свечение в данной спектральной области состоит из двух ярко выраженных полос с максимумами 420 и 530 нм. Времена нарастания ($\tau_n=5$ нс) и спада ($\tau_{сп} \approx 26$ нс) импульса свечения канала совпадают с временными характеристиками ФЭУ и с точностью ~ 2 нс безынерционно следуют за импульсом возбуждения СЭП, в то время как импульс объемного свечения характеризуется временем нарастания $\tau_n=10$ нс и сложным временным ходом затухания с наличием короткой и длинновременной компонент (рис. 2, 5).

Экспериментально установлено, что излучение каналов электрического пробоя практически не зависит от температуры кристалла в диапазоне 80—300 К. Возникновение сплошного спектра излучения вне каналов с интенсивностью, достаточной для регистрации, нами

не обнаружено. Выделение относительного вклада свечения каналов в общую светосумму за импульс возбуждения, а также определение действительного контура сплошного спектра встретили методические сложности вследствие значительной реабсорбции свечения каналов оптически активными дефектами, создаваемыми СЭП.

Плазменное свечение в микроканалах электрического пробоя при воздействии СЭП зарегистрировано нами и в других ионных кристаллах, таких как CaF_2 , KCl . Согласно исследованиям морфологии разрушения широкозонных материалов, проведенным нами в [4], наличие подобного свечения следует ожидать в оксидах, сложных кислородосодержащих солях, широкозонных полупроводниках, в которых первичными разрушениями являются каналы электрического пробоя.

В результате проведенных исследований установлено, что одним из источников сплошного спектра излучения в ионных кристаллах, возбуждаемых СЭП, является плазма в микроканалах электрического пробоя, формирующаяся в результате развития лавинной ударной ионизации в электрическом поле, создаваемом электронным пучком. Учитывая, что состояние плазмы является конечным состоянием вещества в канале электрического пробоя, следует ожидать по мере нагрева значительного изменения в распределении энергии в сплошном спектре излучения объема канала за времена порядка единиц наносекунд.

Литература

- [1] *Вайсбурд Д. И., Шкатов В. Т., Таванов Э. Г.* и др. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1974, т. 38, с. 1281—1284.
- [2] *Вайсбурд Д. И., Семин Б. Н.* Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 32, № 3, с. 197—200.
- [3] *Мюрк В. В.* Автореф. канд. дис. Тарту, 1984. 16 с.
- [4] *Штанько В. Ф., Олешко В. И.* Тез. докл. IV Всес. совещ. «Воздействие ионизирующего излучения и света на гетерогенные системы». Кемерово, 1986, ч. II, с. 87—88.

Томский политехнический институт им. С. М. Кирова

Поступило в Редакцию
6 января 1987 г.

Журнал технической физики, т. 57, в. 9, 1987

ПРОЯВЛЕНИЕ ВЫРОЖДЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ В СПЕКТРАХ ФОТОЭМИССИИ Cs_3Sb ФОТОКАТОДА

А. Н. Аршавский, Г. П. Голубев, И. Х. Кауфман

1. Эффективные фотокатоды являются, как правило, сильно легированными полупроводниками p -типа проводимости [1], причем концентрация акцепторных центров может быть достаточной для вырождения носителей в валентной зоне [2]. В первом приближении это должно приводить к аналогичному эффекту Бурштейна [2] — сдвигу спектральных зависимостей фотоэмиссии (ФЭ) в коротковолновую сторону, что необходимо учитывать при определении порога собственного фотоэффекта $h\nu_0$ и величины электронного сродства χ эмиссионных материалов. Более точно форма спектров ФЭ полупроводниковых фотокатодов с учетом вырождения рассчитана в [3].

Среди традиционных фотокатодов вырождение возможно в первую очередь в Cs_3Sb , концентрация акцепторов в котором достигает $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ [4]. Однако анализ формы спектров ФЭ промышленных ФЭУ-31 с Cs_3Sb фотокатодом показал, что в данном типе ФЭУ материал фотокатода является невырожденным [3]. Характер проводимости Cs_3Sb определяется дефектами кристаллической структуры и трудно контролируемы в процессе изготовления отклонениями от стехиометрии [4-6]. Поэтому для окончательного решения вопроса о вырождении носителей необходимо исследовать различные модификации Cs_3Sb фотокатода.

В настоящей работе на основе расчетов [3] проведен анализ формы спектров ФЭ серии лабораторных образцов Cs_3Sb фотокатода. Показано, что сурьмяно-цезиевые фотокатоды с близкими спектральными характеристиками могут быть как вырожденными, так и невырожденными полупроводниками.