

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ АНТИСТОКСОВО ИЗЛУЧЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ЦИНКА

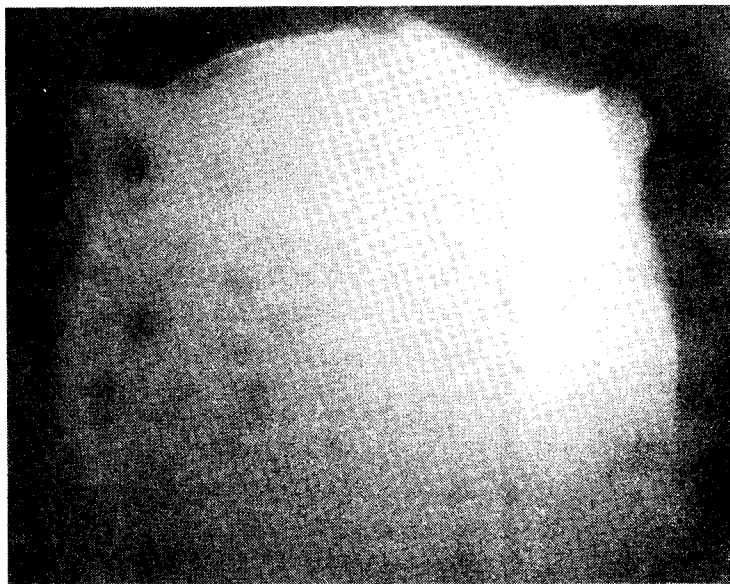
Ю.В.Ушаков, М.В.Фок

Во время люминесценции кристаллов ZnS при комнатной температуре возникает излучение, проникающее сквозь алюминиевую фольгу и черную бумагу. Предложен дислокационный механизм, объясняющий основные черты явления.

Сбоку от люминесцирующего под действием ультрафиолетового (УФ) света кристалла ZnS—Cu, ZnS—Cl или ZnS—Cu, Cl размером от $1 \times 0,5 \times 0,5$ до $5 \times 3 \times 1$ мм помещалась фотопленка, завернутая в фольгу (10 мкм) или черную бумагу, проверенную под микроскопом на отсутствие отверстий. Через несколько часов пленку проявляли и на ней обнаруживалось почернение, обычно — весьма неоднородное по площади пленки и сильно различающееся от опыта к опыту. То же получалось и при электровозбуждении. Возбуждаемый УФ светом кусок тефлона почернения не создавал, так же, как и невозбужденный кристалл ZnS—Cu или сам пучок УФ света направленный прямо на завернутую фотопленку.

В дальнейшем пленка помещалась в кассету с окнами из одного или нескольких слоев алюминиевой фольги. Пленка прижималась к диафрагме поршнем, ввинчивающимся в кассету со стороны, противоположной окну. Иногда между поршнем и пленкой помещали сцинтиллятор на основе полистирола. Излучение, прошедшее через окно, падало на ограниченную диафрагмой поверхность пленки, а его часть, прошедшая сквозь пленку, поглощалась в сцинтилляторе и давала видимое свечение, засвечивающее пленку с другой стороны. Один из удачных по равномерности почернения снимок изображен на рисунке. На нем виден повторенный дважды контур диафрагмы. Внутренний, соответствующий истинным размерам диафрагмы, обусловлен поглощением излучения в фотопленке, а внешний — свечением сцинтиллятора, возникающим в слое определенной толщины и выходящим из него в пределах угла полного внутреннего отражения. По расстоянию между этими контурами была оценена толщина светящегося слоя сцинтиллятора, то есть глубина проникновения в него квантов излучения, а по ней — средняя энергия квантов $h\nu_{изл}$. Оказалось, что $h\nu_{изл} \approx 1$ кэВ (с возможной ошибкой в 2 раза в ту или другую сторону). Другой способ оценки $h\nu_{изл}$ состоял в том, что часть окна закрывалась дополнительными слоями фольги и сравнивалось почернение, возникшее под действием излучения, прошедшего через слои алюминия разной толщины. Несмотря на неравномерность падающего потока, удалось установить, что 10 мкм алюминия ослабляют поток на несколько процентов, что соответствует примерно тем же $h\nu_{изл}$. Сцинтилляционный дозиметр

ДРГЗ-02 показал, что излучение нарастает секунд десять после включения возбуждения, а потом спадает в несколько раз. Мощность его сильно флуктуирует и составляет в среднем 2 — 6 нР/с, но иногда кратковременно возрастает раз в 10. После выключения возбуждения излучение также проходит через максимум и лишь затем затухает. Средняя мощность его порядка 10^{-12} Вт, что соответствует тысячам квантов с $h\nu = 1$ кэВ в секунду. Энергетический выход равен $10^{-10 \pm 1}$.



Наличие послесвечения определенно показывает, что это излучение является люминесценцией. Так как возбуждается оно квантами с $h\nu < 4$ эВ, то излучение может возникнуть лишь в результате некоего коллективного эффекта, при котором складываются энергии многих квантов. Мы предполагаем, что излучение порождается плазмонами, возникающими при почти одновременной рекомбинации большого числа электронов и дырок, захваченных во время люминесценции краевыми дислокациями противоположного знака. Дислокации с ненасыщенными химическими связями одного типа способны захватывать носители заряда только одного знака. Во время рекомбинационной люминесценции они заряжаются и столь сильно притягиваются к дислокациям другого знака, что начинают сближаться. При этом они выгибаются навстречу друг другу, ибо остаются закрепленными в местах нахождения примесных атомов. Захваченные такими дислокациями заряды стягиваются электростатическими силами в места наибольшего сближения дислокаций, что еще увеличивает притяжение. Наконец они сближаются в какой-то точке настолько, что в ней начинается интенсивное туннелирование электронов из одной дислокации в другую. Почти вся запасенная ими энергия выделяется за короткое время практически в одной точке, что создает плазмоны высоких энергий, способные породить кванты с $h\nu_{\text{изл}} \approx 1$ кэВ. После рекомбинации упругие силы возвращают дислокации в исходное положение и процесс повторяется сначала. Благодаря этому кристалл может десятки часов испускать высокоэнергетические кванты.

Описанный механизм объясняет основные особенности излучения:

1. Флуктуации интенсивности при непрерывном возбуждении. Движение дислокаций может, как известно, породить акустические фононы и в то же время само стимулиро-

ваться ими. Поэтому первая "сработавшая" пара дислокаций помогает начать двигаться некоторым другим, те — третьим и так далее. Получается короткая вспышка, после которой надо некоторое время для накопления новой порции зарядов на дислокациях.

2. **Немонотонность разгорания.** После рекомбинации часть дислокаций не успевает вернуться в исходное положение, как на них вновь накапливается заряд, заставляющий их начать вновь сближаться. Однако он будет меньше первоначального, ибо сближение началось с меньшего расстояния. Поэтому и энергия, выделяющаяся при рекомбинации, будет меньше и ее может нехватать для возбуждения высокоэнергетичного плазмона. Это уменьшает эффективное число действующих пар дислокаций, а с ним и интенсивность излучения.

3. **Немонотонность послесвечения.** Само послесвечение возникает из-за того, что неравновесные носители заряда запасаются также и на точечных дефектах и могут оттуда переходить на дислокации после выключения возбуждения. Концентрация носителей заряда постепенно убывает, дислокации могут расходиться все дальше и дальше и потому на них может накапливаться все больший заряд, что увеличивает эффективное число действующих пар дислокаций, а с ним и интенсивность излучения. Когда запас зарядов на точечных дефектах истощится достаточно сильно, излучение все же ослабевает.

4. **Направленность.** Направленность части излучения может быть связана с ориентацией дислокаций по направлению (110), выходящих на поверхность, обращенную к фотопленке.

5. **Величина КПД.** Оценка показывает, что из-за взаимного отталкивания заряды на прямолинейной дислокации могут сойтись не ближе, чем на 50 — 80 Å. При такой плотности заряда электростатическое взаимодействие между дислокациями заметно лишь если они находятся ближе, чем на 500 Å друг от друга. При плотности их 10^6 см^{-2} такие пары образуют лишь 10^{-4} от общего числа дислокаций, но лишь они дают высокоэнергетические кванты. Концентрация ненасыщенных связей в них порядка 10^9 см^{-3} . Поэтому при концентрации ловушек порядка 10^{18} см^{-3} на них попадает порядка 10^{-9} от всего количества возникших при возбуждении электронов и дырок, но не вся их энергия перейдет в энергию испускаемых квантов. Поэтому КПД $\leq 10^{-9}$, что согласуется с опытом.