

О СВОЙСТВАХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО В МАЛОМ ОБЪЕМЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ

*Г. В. Спивак, Л. Ф. Комолова, В. И. Служев,
Г. В. Сапарин, М. К. Антошин*

Описывается стробоскопическая методика в растровом электронном микроскопе (РЭМ), работающем в режиме катодolumинесценции (КЛ). Использование определенной фазы КЛ импульса для построения изображения дало возможность повысить более чем на порядок пространственное разрешение. Метод был применен в исследованиях кристаллов молибдошеелитов.

Стробоскопическая электронная оптика дает возможность принимать люминесцентный сигнал из малого объема. Линейные размеры объема

должны быть много меньше длины световой волны. Это позволяет повысить локальность свето-оптической информации, получаемой от массивного объекта.

Системой для получения оптоэлектронного сигнала может служить растровый электронный микроскоп (РЭМ), работающий в режиме катодолюминесценции (КЛ). Этот оптический сигнал служит для: а) получения изображения [1] или б) вывода света для спектральной диагностики на оптический монохроматор [2]. Разрешение (определяется размерами светящейся области) обычно порядка десятых микрона, т.е. такое же, как и в оптическом микроскопе [3]. Однако, в РЭМ в режиме вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ), давно достигнуто сверхоптическое разрешение [4].

В данной работе рассматриваются: механизм формирования катодолюминесценции и условия, которые позволяют по разрешению приблизиться к режиму, даваемому ВЭЭ. Эти условия, определяются: а) величиной радиуса, "освещающего" электронного пучка, б) характером локального электронного облучения, в) временами строчной развертки τ_p и люминесцентного высвечивания τ_s . По пункту "а" требуется: размеры области люминесценции должны быть малыми по сравнению с длиной световой волны. Это осуществляется за счет малого сечения электронного зонда. Обычно радиус зонда меняется в пределах от 5 до 200 Å. Это условие является необходимым, но недостаточным: область рекомбинационного высвечивания, определяющая разрешение, растет во времени за счет диффузии электронов и дырок. В пункте "в" будет показано, как эта трудность нами преодолевается. Переходим к пункту "б": Дабы люминесценция от отдельных мест не накладывалась друг на друга, необходимо возбуждать свет не одновременно, а последовательно. В. К. Аркадьев [5] обратил внимание на такую возможность подавления световых дифракционных явлений. В РЭМ имеет место режим последовательного возбуждения точек объекта, однако надо еще учесть соотношение времен τ_p / τ_s , которое может быть много меньше (1-й случай, быстрая развертка) или много больше (2-й случай, медленная развертка) единицы. При обычном наблюдении КЛ и РЭМ [3] для первого случая возникает ошибка типа "шлейфа" (см. [6], рис. 10), ибо зонд уже ушел из точки, где была возбуждена люминесценция, а ее излучение "приписывается" другому месту. Во втором случае имеет место значительная потеря разрешения. Рассмотрим наши предложения по пункту "в". Зная, что времена [3] для τ_s лежат в пределах $10^{-8} \leq \tau_s \leq 10^{-3}$ сек и принявши надлежащее время для τ_p , можно ожидать, что КЛ пробежит фазу высокого разрешения. Разрешение потом теряется из-за запаздывания рекомбинации диффундирующих частиц.

Таким образом, необходимо для выделения этой фазы применить в РЭМ стробоскопическое устройство [4] с клапанной радиосхемой (рис.1). Ход периодически повторяющихся операций таков: а) на определенное время включается импульсный электронный луч, генерирующий электроны и дырки, б) клапанное устройство сначала закрыто, а затем открывается на нужное время с возможным сдвигом относительно начала импульса генерации частиц. Многократное автоматическое повторение операций "а" и "б" позволяет как выделить интересующую нас фазу явления, так и обеспечить достаточную интенсивность КЛ. На рис. 1 показана схема наблюдения: 1 - колонна РЭМ, 2 - рабочая камера, 3 - ФЭУ, 4 - клапанное

когда возбуждается люминесценция малых (по сравнению с диффузионной длиной) частиц. Это мы наблюдали, возбуждая люминесценцию лунного реголита в режиме цветной КЛ [7]. Границы этих частиц быстро достигаются рожденными парами, которые рекомбинируя высвечиваются или же отдают свою энергию на границах на безизлучательные процессы. Тогда область высвечивания сильно ограничена, что дает улучшенное пространственное разрешение КЛ [1, 3].

Предложенный нами способ может рассматриваться как искусственное ограничение области высвечивания, дающий улучшение пространственного разрешения сплошного объекта. Заметим, что ожидание пока " запаздывающее" люминесцентное излучение затухает, чтобы снять "шлейф", становится полезным фактором при наблюдении КЛ диэлектриков (сцинтилляторы, биологические объекты, минералы и др.). Тогда, благодаря долгому ожиданию, заряд от пучка электронов успева-ет стечь [8].

Таким образом ранее предложенная для изучения временных процессов стробоскопическая электронная микроскопия [4] оказывается также эффективной для повышения примерно на порядок пространственного разрешения светооптических систем.

Московский
государственный университет
им М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
13 ноября 1974 г.

Литература

- [1] P.R.Thornton. Scanning El. Microscope. Chapman and Hall, L 1968.
- [2] D.Wittry. Appl. Phys. Lett., 8, 142, 1966; Ф.А.Гиммельфарб, А.В.Говорков, В.И.Фистуль. Зав.лаб., 38, 781, 1972
- [3] L. Reimer, G.Pfefferkorn. Rasterelektronenmikroskopie, Springer Verl, В, 1973.
- [4] Г.В.Спивак, Г.В.Сапарин, М.В.Быков, УФН, 99, 635, 1969.
- [5] W.Arkadiew. Phys ZS, 14, 833, 1913.
- [6] Г.В.Спивак, Г.В.Сапарин, М.К.Антошин. УФН, 113, 695, 1974
- [7] Г.В.Спивак, М.К.Антошин, Н.П.Ильин, Г.С.Сапарин. Сб."Лунный грунт из Моря Изобилия". М., изд Наука, под ред. А.П.Виноградова, стр.529.
- [8] Г.В.Спивак, М.В.Быков, Г.В.Сапарин, Ю.А.Андреенко. Радиотехника и электроника, 16, 1530, 1971