

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МИКРОСКОПА ДЛЯ  
МОНИТОРИНГА НЕРАВНОВЕСНО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ В АКТИВНЫХ СРЕДАХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОЛУПРОВОДНИКАХ, ИНТЕРКАЛИРУЕМЫХ В КЛЕТОЧНЫЕ  
СТРУКТУРЫ В КАЧЕСТВЕ КОНТРАСТИРУЮЩИХ АГЕНТОВ**

**Орехов Ф.К.<sup>1</sup>, Яблоков А.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ИХФ РАН, <sup>2</sup>ИНЭПХФ РАН

Неравновесные термодинамические процессы в полупроводниках с дефектами сопровождаются ИК-люминесценцией. Она может регистрироваться как в среднем ИК-диапазоне (т.н. "vibrational luminescence in the mid-infrared" - MIR), так и в ближней области (т.н. NIR luminescence). Диапазоны ИК, в которых может проявляться инфракрасная люминесценция (infrared luminescence – аббр. как IRL) от ближней до дальней границы её наблюдения относятся к тепловому излучению (т.н. «calorific rays» Гершеля). Поэтому возможно создание системы, промеряющей ИК-эмиссию как термодинамическую характеристику неравновесных физико-химических структур или сред. Нами предлагается реализация гибридного устройства, реализующего эти функции, базирующаяся на модернизации платформы люминесцентного микроскопа типа "Люмам". Использование специализированных переходников в зоне крепления бинокулярной (или тринокулярной) насадки позволяет фиксировать на нём различные измерительные головки. Предлагается гибридизация платформы микроскопа данного типа с измерителем средней мощности и энергии лазерного излучения типа ИМО, лазерным пирометром (являющимся синхронно средством лазерного облучения и регистрации температуры), конструктивно-измененной (с замененной оптикой и ФЭУ, адаптировано под ИК-диапазон) микрофлуориметрической насадкой типа МФН и камерой для регистрации изображений со специальным фильтром. Однако проблема оптимизации чувствительности подобных устройств, в особенности – спектральной оптимизации в ИК-диапазоне остается нерешенной.

Неравновесные термодинамические процессы, каталитические [1] и эмиссионные явления в полупроводниках с дефектами [2-4] сопровождаются инфракрасной люминесценцией. Она может регистрироваться как в среднем ИК-диапазоне (т.н. "vibrational luminescence in the mid-infrared" - MIR), так и в ближней области (т.н. NIR luminescence). Диапазоны ИК, в которых может проявляться инфракрасная люминесценция (infrared luminescence - IRL) от ближней до дальней границы её наблюдения относятся к тепловому излучению («calorific rays» Гершеля). Поэтому возможно создание системы, промеряющей ИК-эмиссию как термодинамическую характеристику

неравновесных физико-химических структур или сред. В силу низкой интенсивности большинства подобных излучательных процессов, для реализации подобных измерений в многих случаях требуется индуцировать ИК-эмиссию - например, путём облучения образца или среды лазерным излучением [1, 5]. Посредством лазерно-индуцированной люминесценции можно исследовать достаточно широкий класс процессов физики твердого тела и физики частично упорядоченных сред. Взаимодействие лазерного излучения с веществом и возбуждение люминесценции в тепловом диапазоне при высокой локальности зоны фотонной эмиссии, сопоставимой с размером лазерного возбуждающего пучка, требует одновременных измерений средней мощности и энергии лазерного излучения, локальных микропирометрических или бесконтактных термических измерений, измерений выхода фотонов (с использованием ФЭУ в режиме счета фотонов).



Илл. 1 а: Гибридизация с головкой ИМО.



Илл. 1 б: Гибридизация с пирометром Center.

Нами предлагается реализация устройства, реализующего эти функции, базирующаяся на модернизации платформы люминесцентного микроскопа типа "Люам". Использование специализированных переходников в зоне крепления бинокулярной (или тринокулярной) насадки позволяет фиксировать на нём различные измерительные головки. Предлагается гибридизация платформы микроскопа данного типа с измерителем средней мощности и энергии лазерного излучения типа ИМО, лазерным пирометром (являющимся синхронно средством лазерного облучения и регистрации температуры), конструктивно-измененной (с замененной оптикой и ФЭУ, адаптировано под ИК-диапазон) микрофлуориметрической насадкой типа МФН и камерой для регистрации изображений со специальным фильтром.

Примеры гибридизации такого рода приведены на илл. 1 а, б.

Это позволяет производить микро-термографический мониторинг [6] в корреляции с остальными характеристиками, то есть значительно увеличивать эвристическую ценность термографических данных вследствие использования люминесцентного подхода к оптическим измерениям неравновесных сред при соответствующем (по спектральным характеристикам) воздействии. Можно говорить о возможности селективного управления процессами в данной среде / клетке указанным типом воздействий, управляя реакционно-диффузионными и люминесцентными эффектами оптическим или тепловым путём с анализом локализаций и колокализаций воздействий и эффектов на картах образца [7].

### **Литература**

1. Krylov O.V., Shub B.R. Nonequilibrium Processes in Catalysis, 320 p., CRC Press, 1993.
2. Chu J., Sher A. Physics and Properties of Narrow Gap Semiconductors, 618 p., Springer, 2010
3. Morkoc H. Nitride Semiconductors and Devices, 512 p., Springer, 1999.
4. Dierolf V. Electronic Defect States in Alkali Halides: Effects of Interaction with Molecular Ions, 208 p., Springer, 2010.
5. Zhitneva G.P., Zhitnev Y.N. Laser-Induced Luminescence upon IR Multiphoton Excitation of Diethylsilane // High Energy Chemistry. — 2004. — Vol. 38, №. 4. — P. 269-274.
6. Reeves C.W. Thermography Monitoring Handbook, 162 p., Coxmoor Publishing Co., 1999.
7. Gradov O.V., Gradova M.A. Reaction-diffusion optoelectronics based on dispersed semiconductors // Journal of Physics: Conference Series. — 2015. — Vol. 643. — P. 012072.