

## Механизм свечения кремния. Новая версия

Из номера в номер ПерсТ старается не упускать из поля зрения интригующие перипетии превращения кремния в оптоэлектронный материал. Напомним, теме «рассвета над кремнием» были посвящены многие публикации ПерсТ'а [2001, вып. 23/24; 2002, вып. 12, 15/16]. Как часто случается, сюжет начинался с блестящего открытия, когда казалось, что до цели — рукой подать, в данном случае — с переоткрытия пористого кремния в 90-м. Однако вместо того, чтобы победно завершиться, тема запутывалась, обрастала подробностями, подробности вырастали до уровня проблем, а застарелые проблемы рассыпались зародышами новых. Но разве можно быть уверенным, что успех не придет на неожиданном повороте?

В последнее время известия об успехах пришли с двух прямо противоположных сторон. Сайт <http://optics.org/> распространил информацию под скромным заголовком «Silicon rivals GaAs emission efficiency» [1]. В информации сообщается, что заветный рубеж, наконец, пройден ценой технологического решения. На достижение успеха претендует сицилийское R&D отделение французской фирмы STMicroelectronics. В реализованной конструкции излучателя, согласно сообщению, собраны решения, уже так или иначе «засвеченные» в других публикациях. Сам материал, строго говоря, не является кремнием, это обогащенный кремнием оксид кремния, т.е. распределенные в оксиде 1-2 нанометровые кристаллиты кремния. Сверхизлучение на подобной структуре было получено группой итальянских исследователей в 2000 году [2]. Их результат вошел в объявленную сайтом <http://physicsweb.org> десятку важнейших физических результатов 2000 года. Однако на этот раз материал дополнительно имплантировали редкоземельными ионами эрбия или церия, и излучение было получено именно на длине волны испускания редкоземельных ионов.

Применение для кремния редкоземельного иона-активатора, в особенности эрбия, также хорошо известно; не так давно сборная команда исследователей МГУ и ФТИ им. А.Ф.Иоффе уже рапортовала о наблюдении *сверхизлучения* эрбия в кремнии [3]. Так что анонсированный <http://optics.org/> результат как бы не является неожиданностью, однако то, что он достигнут простым сложением уже опробованных приемов, как-то подозрительно и немного обидно.

С другой стороны, совершенно по-новому подошли к проблеме люминесцирующего кремния исследователи из другой группы ФТИ им.Иоффе. [4]. Как все остальные, они, разумеется, тоже возбуждали люминесценцию и определили для своей структуры не очень маленький квантовый выход,  $\sim 10^{-2}$ . Главный же результат, который отличает их от коллег, заключается в том, что они, по-видимому, поняли механизм, обеспечивающий возникновение эффективной люминесценции.

Отметим, что на этот раз все складывалось нетрадиционно. Чаще, самое сложное – эффект наблюдать; после факта обнаружения объяснить эффект удастся достаточно быстро. С люминесценцией кремния все обстояло иначе. О квантовом выходе порядка долей процента и выше сообщали во многих работах, но причину успешного наблюдения провозглашали не отчетливо – например, «инженерия дефектов» в публикации [5].

Предложенный же в работе [4] механизм имеет простой физический смысл, и, хотя он еще не имеет 100% признания у коллег и применимость его к остальным случаям еще надо выяснять, именно **его простота и ясность вызывают доверие**. Подробные исследования и анализ деталей спектров свечения позволил авторам предложить **новую нетривиальную идею механизма свечения**.

Идея заключается в следующем: обычно тепло является врагом излучательной рекомбинации, увеличивая вероятность безызлучательного исхода, уширяя линии, снижая эффективность и т.д. Оказывается, *локальный* разогрев полупроводника может привести к обратному эффекту: нагрев уменьшает ширину запрещенной зоны, и возбужденные носители скатываются в область локального разогрева. В результате тепло еще больше выделяется именно в этой области, концентрация возбужденных носителей растет, и в конечном итоге носители

стягиваются в сгусток электронно-дырочной плазмы. Возрастание эффективной излучательной рекомбинации после того, как электроны и дырки образуют сжатую плазму, воспринимается уже почти как должное. Именно на такой модели настаивают авторы работы [4]. Предложенный механизм назван авторами «высокотемпературная самокомпрессия электронно-дырочной плазмы». Звучит солидно, после такого кремний просто обязан устойчиво светиться.

**ПерсТ, том 9, выпуск 23, 15 декабря 2002 г.**

1. <http://optics.org/articles/news/3/10/30/1>
2. *L Pavesi et al. Nature, 2000, 408, p.440*
3. *M.S.Bresler, O.B.Gusev, E.I.Terukov, I.N.Yassievic, B.P.Zakharchenya, V.I.Emelynov, B.P.Kamenev, P.K.Kashkarov, E.A.Konstantinova, V.Yu.Timoshenko. Material Science and Engineering, 2001, B81, p.52*
4. *P.D.Altukhov, E.G.Kuzminov. Phys.Stat.Sol.(b), 2002, 232, p.364; 2003, 235, p.195*
5. *W.L.Ng et al. Nature, 2001, 410, p.192-194*