

# СВЕРХ- ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

№3 (107)  
1997

КИЕВ

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В ИЮЛЕ 1979 г.  
ВЫХОДИТ ШЕСТЬ РАЗ В ГОД

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

Труды  
семинара стран СНГ

“Фуллерены—97”

Украина, Киев, 25—27 марта 1997 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Информационное сообщение . . . . .	3
<i>Новиков И. В., Перевертайло В. М., Малоголовец В. Г., Кулик О. Г., Подзярей Г. А., Начальная Т. А.</i> Спектроскопия продукта термобарической обработки фуллерита $C_{60}$ . . . . .	5
<i>Ройцин А. Б., Климов А. А., Артамонов Л. В.</i> Нецентральность примесей в эндодральных фуллеренах и параэлектрический резонанс. . . . .	10
<i>Ищенко С. С., Ворона И. П., Окулов С. М.</i> Двойной электронно-ядерный резонанс в фуллерите $C_{60}$ . . . . .	19
<i>Прилуцкий Ю. И., Шаповалов Г. Г.</i> Исследование динамики решетки ориентационно упорядоченного кристалла $C_{70}$ . . . . .	23
<i>Куприевич В. А., Шрамко О. В., Кудрицкая З. Г.</i> Эффекты электронного взаимодействия в трианионе фуллерена $C_{60}^{3-}$ . . . . .	31
<i>Шведов Л. К.</i> Получение сверхтвердой фазы фуллерена $C_{60}$ на аппарате высокого давления с алмазными наковальнями. . . . .	38

<i>Смехнов А. А., Бугаец О. П.</i> Электронная и ионная спектроскопия фуллеренов .....	43
<i>Украинский И. И., Куприевич В. А., Шрамко О. В.</i> Ориентационный эффект кулоновских взаимодействий в сверхпроводящем фуллериде $Rb_3C_{60}$ .....	50
<i>Людченко А. А., Еременко В. В., Горбенко Н. И., Зиновьев П. В., Нерух Д. А., Пугачев А. Т., Силаева Н. Б., Тиунов Ю. А., Чуракова Н. П.</i> Люминесценция тонких пленок $C_{60}$ при низких температурах. . .	56
<i>Пугачев А. Т., Чуракова Н. П., Горбенко Н. И.</i> Структура и тепловое расширение тонких пленок фуллерита $C_{60}$ . . . . .	63
<i>Смехнов А. А., Иваськевич Я. В.</i> Установка для получения фуллеренов .....	68
<i>Лысенко А. В.</i> Особенности электронного и кристаллического строения фуллеритов $C_{60}$ и $C_{70}$ .....	69
<i>Клюй Н. И., Литовченко В. Г., Новиков Н. В., Пирятинский Ю. П., Рожин А. Г., Семенович В. А.</i> Особенности фотолюминесценции систем: фуллерен—пористый Si; алмазоподобная пленка углерода—пористый Si .....	73
<b>Симпозиумы, конференции, семинары.....</b>	82

Научный редактор Колодницкий В. Н.  
Художественный редактор Доброскокина Л. П.  
Технический редактор Фролова Л. А.

---

Сдано в набор 10.07.97. Подп. в печ. 3.07.97. Формат 70x108/16.  
Бум. писч. N 1 Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 400 экз. Заказ

---

Информационно-издательский отдел с полиграфическим участком  
ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины

А. А. Авдеенко, В. В. Еременко, Н. И. Горбенко,  
П. В. Зиновьев, Д. А. Нерух, А. Т. Пугачев,  
Н. Б. Силаева, Ю. А. Тиунов,  
Н. П. Чуракова (г. Харьков)

### Люминесценция тонких пленок $C_{60}$ при низких температурах

*Исследованы люминесценция и структура тонких пленок (10 нм) фуллерита  $C_{60}$ , полученных осаждением в вакууме на скол монокристалла NaCl. По данным электронно-оптических исследований, пленки  $C_{60}$  были сплошными, достаточно однородными, имели ГЦК-решетку, ориентированную таким образом, что плоскость (111) была параллельна плоскости (001) монокристалла NaCl. Проведены измерения спектров фотолюминесценции пленок фуллерита  $C_{60}$  на NaCl и в свободном состоянии при температуре 5 К. Экспериментальные спектры с плохо выраженной структурой разделены на составляющие полосы гауссовой формы. Отмечено влияние подложки и длины волны возбуждения на спектры люминесценции. Обсуждаются механизмы формирования спектров люминесценции.*

Фотофизические свойства фуллерена  $C_{60}$  привлекают неизменное внимание исследователей. Это связано, прежде всего, с уникальной симметрией молекулы и, как следствие, с особенностями спектра возбужденных состояний. Как следует из квантовомеханических расчетов, самыми низкими возбужденными состояниями молекулы  $C_{60}$  являются состояния с симметрией  $T_{1g}$  и  $T_{2g}$  в группе  $I_h$ . Таким образом, излучательные электродипольные переходы из этих состояний в основное запрещены. Механизмы, ответственные за люминесценцию молекулы  $C_{60}$ , в настоящее время интенсивно исследуются [1–3].

Фуллериты являются молекулярными твердыми телами, и, естественно, спектроскопические исследования обычно преследуют цель выявить как молекулярные, так и кристаллические эффекты. Благодаря слабым межмолекулярным взаимодействиям ван-дер-ваальсового типа, в таких кристаллах реализуются состояния триплетных [4] и синглетных [5, 6] френкелевских экситонов. Важную роль в формировании спектров фотолюминесценции фуллерита  $C_{60}$  играют эксимерные состояния [7, 8].

Общим свойством молекулярных кристаллов является наличие в них так называемых X-ловушек для экситонов [9], связанных с дефектами структуры и остаточными примесями. Свечение X-ловушек в кристаллах фуллерита  $C_{60}$  [10, 11] значительно усложняет спектр низкотемпературной люминесценции и обуславливает неоднородное уширение люминесцентных полос [12]. Таким образом, для адекватной трактовки спектров люминесценции фуллерита  $C_{60}$  одним из важнейших условий является выбор метода приготовления образцов.

Анализ литературных данных показывает, что наиболее популярными объектами для люминесцентных исследований фуллерита  $C_{60}$  являются тонкие слои, осажденные на различные подложки при вакуумном испарении [7, 8, 10, 12–23].

В настоящей работе впервые исследованы низкотемпературные спектры фотолюминесценции тонких (10 нм) свободных монокристаллических пленок фуллерита  $C_{60}$ . В свете сказанного выше, такие исследования

представляются весьма актуальными, т.к. спектры люминесценции могут исказиться как из-за взаимодействия пленки фуллерита с подложкой [16, 24—26], так и благодаря возникновению натяжения в пленках при низких температурах за счет разницы в коэффициентах расширения пленки и подложки [2]. Необходимо отметить, что при использовании в качестве образцов свободных пленок возникают новые возможности изучения природы взаимодействия слоев фуллерита с различными пограничными слоями.

**Экспериментальная часть.** Пленки фуллерита  $C_{60}$  были получены методом вакуумного испарения исходного материала чистотой не хуже 99,9%. Молекулярные пучки  $C_{60}$  осаждались в вакууме порядка  $10^{-3}$  Па на скол (001) монокристалла NaCl, находящегося при комнатной температуре. Объектами исследований были как пленки  $C_{60}$  на сколе NaCl, так и свободные пленки  $C_{60}$ , отделенные в воде от подложки и помещенные затем на медные электронно-микроскопические сеточки с размерами ячеек  $30 \times 30$  мкм<sup>2</sup>.

Следует отметить, что период решетки фуллерита  $C_{60}$  ( $a_{C_{60}} = 1,42$  нм) существенно отличается от периода решетки хлористого натрия  $a_{NaCl} = 0,54$  нм. Выбор NaCl в качестве подложки обусловлен тем, что для данной системы пленка—подложка имеются необходимые благоприятные ориентационные соотношения для монокристалльного роста пленок. Так, два периода решетки  $C_{60}$  с точностью до 1% соответствуют 5 периодам решетки NaCl.

Толщина пленок задавалась массой навески и определялась электронографически по размытию узлов обратной решетки [28]. Исследованные пленки имели толщину  $10 \pm 1$  нм.

Период решетки определялся по электронограммам, полученным при одновременной съемке “на просвет” образца и эталона, которые располагались встык в одной плоскости, так что облучаемый участок захватывал часть площади пленки  $C_{60}$  и часть площади эталона. В качестве эталона использовалась отожженная пленка Al толщиной около 45 нм. При съемке ускоряющее напряжение составляло 40 кВ, плотность тока электронного пучка не превышала  $10^{-6}$  А·см<sup>-2</sup>.

Период решетки пленок  $C_{60}$  определялся по отображениям типа (220) и (422). Расстояния между рефлексами прецизионно измерялись на измерительном микроскопе.

Электронно-микроскопические и электронографические исследования показали, что полученные пленки  $C_{60}$  были сплошными и имели ГЦК-решетку. Электронограмма пленки  $C_{60}$  толщиной  $t = 10$  нм представлена на рис. 1. Следует особо подчеркнуть, что перемещение пленки под электронным пучком на расстояние примерно 5 мм не приводило к каким-либо изменениям на дифракционной картине. Это свидетельствует о достаточной однородности пленки. Электронограммы содержали отражения (220) и (422), типичные для (111)-ориентировки, т.е. плоскость (111)  $C_{60}$  параллельна (100) NaCl. Однако наряду с отражениями, характер-

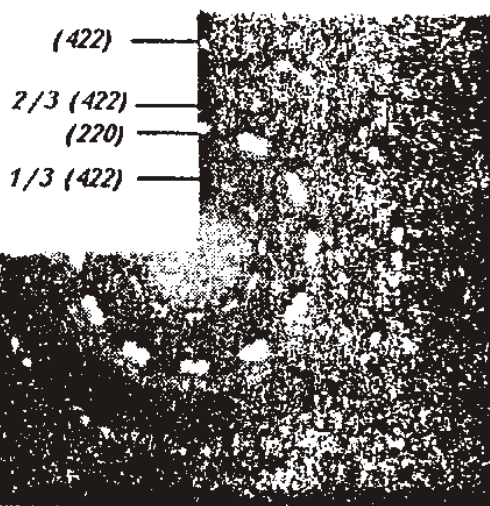


Рис. 1. Электронограмма пленки  $C_{60}$  толщиной  $t = 10$  нм.

ными для ГЦК-структуры с [111]-нормалью к плоскости пленки, на электронограммах присутствовали также запрещенные рефлексы с межплоскостными расстояниями 0,86 и 0,43 нм. Они могут быть идентифицированы как  $1/3 \{422\}$ - и  $2/3 \{422\}$ -рефлексы, обусловленные дефектами упаковки [29].

Период решетки при температуре 294 К был равен  $1,420 \pm 0,001$  нм, что близко к значению периода решетки массивных монокристаллов  $C_{60}$  1,416—1,418 нм [30, 31].

При исследовании спектров фотолюминесценции в качестве источника оптического возбуждения использовалась ртутная лампа высокого давления ДРШ-500. С помощью соответствующих светофильтров и зеркального монохроматора SPM2 выделялись линии ртутного спектра 436 и 546 нм. Система регистрации спектров включала сканирующий монохроматор МДР-3 и фотоумножитель ФЭУ-79, работающий в режиме счета фотонов. Накопление сигнала, его обработка, считывание, а также контроль за экспериментом осуществлялись с помощью компьютера IBM PC. Спектры люминесценции корректировались на спектральную чувствительность регистрирующей аппаратуры. Учитывались также паразитные засветки от медной сетки. Спектральная ширина щели была 5 нм.

Исследуемые образцы помещались в гелиевый криостат с фиксированной температурой порядка 5 К. Люминесценция регистрировалась на отражение под углом  $45^\circ$  к направлению возбуждающего излучения.

Объектом исследования была монокристаллическая пленка  $C_{60}$  толщиной 10 нм. В одном случае она была нанесена на поверхность монокристалла NaCl, в другом — была закреплена на медной сетке с размером ячейки  $30 \times 30$  мкм<sup>2</sup>. На первом этапе снимался спектр свечения пленки на подложке NaCl. Затем подложка растворялась в воде, а пленка отлавливалась на медную сетку. Таким образом, исследовались спектры одной и той же пленки на подложке и в свободном состоянии. Возбуждение и регистрация люминесценции свободной пленки осуществлялись со стороны медной сетки.

**Результаты и обсуждение.** На рис. 2 и 3 приведены спектры фотолюминесценции при температуре 5 К пленок фуллерита  $C_{60}$  на подложке NaCl и в свободном состоянии при различных длинах волн возбуждения. Поскольку структура спектров слабо выражена, было проведено их разложение на составляющие полосы. При этом должны быть решены два существенных вопроса: выбор числа составляющих полос и их формы.

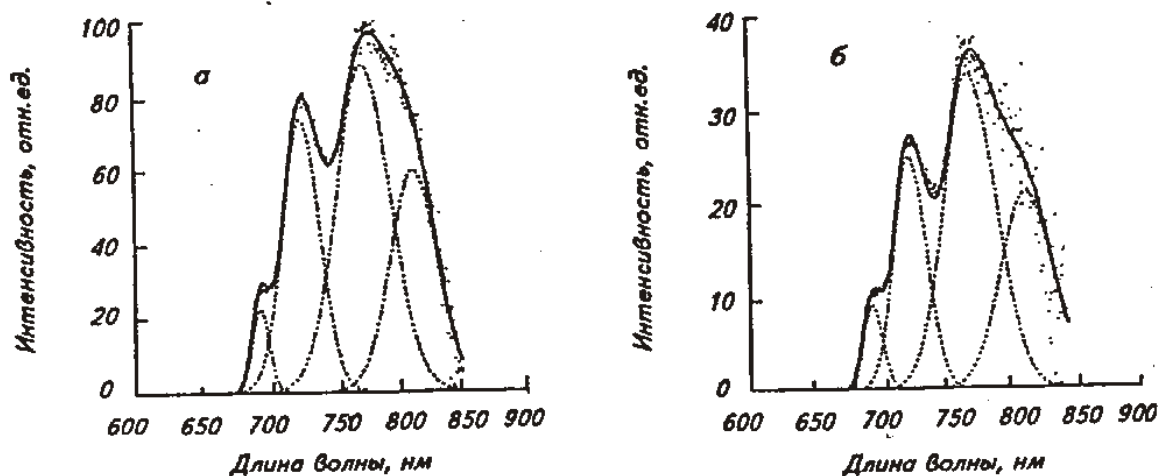


Рис. 2. Спектр люминесценции пленки фуллерита  $C_{60}$  толщиной 10 нм на подложке NaCl при температуре 5 К: а — при возбуждении излучением с длиной волны 436 нм; б — при возбуждении излучением с длиной волны 546 нм. (.....) — экспериментальные точки, (—) — расчетная кривая, (----) — результат разделения экспериментального спектра методикой, приведенной в тексте.

Для разрешения этих вопросов в настоящее время не существует строгих подходов и зачастую решающую роль играет опыт исследователя и косвенные соображения. Единственным (но не исчерпывающим) критерием истинности разложения является дисперсия аппроксимации — чем она меньше, тем лучше разложение. С этой точки зрения, увеличение числа полос улучшает результат, однако существует некоторое минимальное число, больше которого не наблюдается существенного уменьшения дисперсии аппроксимации. С другой стороны, если число полос больше необходимого минимума, появляется неоднозначность в их параметрах: изменение одних полос влечет за собой изменение других без существенной модификации дисперсии аппроксимации либо некоторые полосы вообще оказывают слабое влияние на качество разложения.

Учитывая вышесказанное, при разложении экспериментальных спектров, осуществленном с использованием метода наименьших квадратов, теоретическая спектральная зависимость представляла собой сумму четырех гауссовых кривых, задаваемых формулой

$$G(\nu) = \frac{S_0}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\left(\frac{\nu - \nu_{\max}}{\sigma}\right)^2\right],$$

где  $S_0$  — интенсивность,  $\sigma$  — ширина,  $\nu_{\max}$  — положение максимума полосы. Как показали пробные расчеты, использование четырех полос явилось тем необходимым минимумом, который обеспечил однозначность полученных результатов. Что касается формы полос, при использовании более сложной функции Фойгта, предоставляющей собой интегральную свертку кривых Гаусса и Лоренца, вклад лоренцевой части был пренебрежимо мал по сравнению с гауссовой.

Поиск минимума суммы квадратов отклонений осуществляли методом деформируемого многогранника [32]. Программная реализация метода на языке C++ с использованием объектно ориентированного подхода вошла в созданный одним из авторов пакет "Spectra Handler" [33], работающий в системе OS/2 и использующий преимущества графического интерфейса системы — PM.

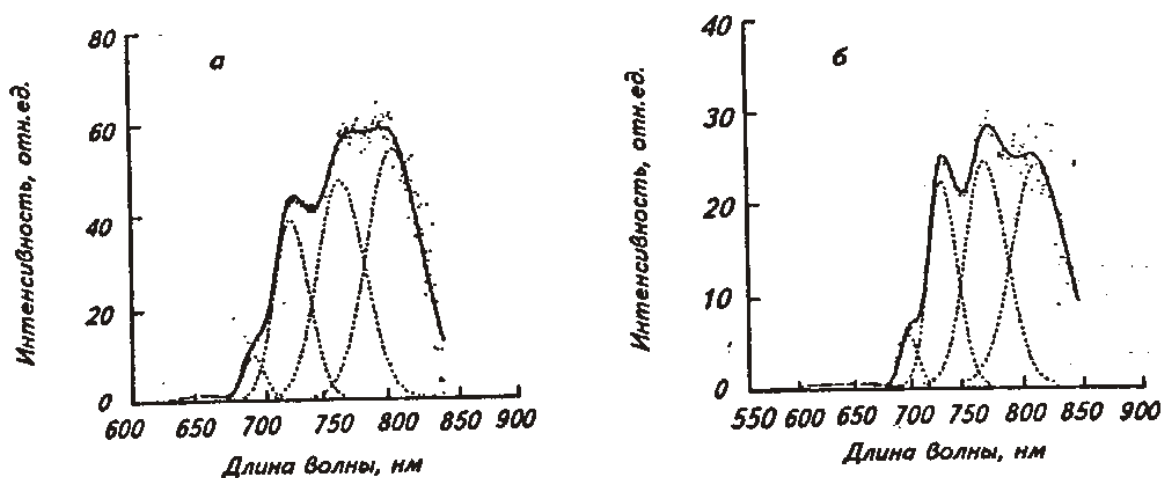


Рис. 3. Спектр люминесценции свободной пленки фуллерита  $C_{60}$  толщиной 10 нм при температуре 5 К: *a* — при возбуждении излучением с длиной волны 436 нм, *b* — при возбуждении излучением с длиной волны 546 нм. (.....) — экспериментальные точки, (—) — расчетная кривая, (----) — результаты разделения экспериментального спектра с помощью метода, описанного в тексте.

На рис. 2 и 3 приведены результаты разложения экспериментальных спектров фотолюминесценции указанным выше способом. В табл. 1 и 2 представлены соответствующие числовые данные для положения максимумов и относительных интенсивностей полос люминесценции, а также данные работ [8, 9].

**Таблица 1.** Положение максимумов  $\lambda_{\text{max}}$  и относительная интенсивность  $I_{\text{max}}$  полос люминесценции пленки  $C_{60}$  на NaCl

$\lambda_{\text{возб}} = 436 \text{ нм}$		$\lambda_{\text{возб}} = 546 \text{ нм}$		Данные [8, 9]
$\lambda_{\text{max}}, \text{ нм}$	$I_{\text{max}}, \text{ отн. ед.}$	$\lambda_{\text{max}}, \text{ нм}$	$I_{\text{max}}, \text{ отн. ед.}$	
695,0	22,5	695,5	18,0	701,6
—	—	—	—	714,5
727,0	73,0	726,0	48,0	731,0
—	—	—	—	745,0
775,0	87,5	775,0	65,5	762,0
813,5	59,0	818,5	40,5	814,0

Как видно из рисунков и таблиц, форма спектров люминесценции практически не зависит от длины волны возбуждающего излучения. Это, очевидно, является следствием того, что различные возбужденные состояния релаксируют на одно и то же излучающее состояние [21]. В то же время соотношения интенсивностей полос люминесценции пленки  $C_{60}$  на подложке NaCl и в свободном состоянии различны. По-видимому, этот эффект обусловлен влиянием подложки. Детальное исследование механизма влияния подложки на процессы люминесценции пленки  $C_{60}$  будет проведено в дальнейшем.

Сравнивая положения максимумов полос люминесценции (см. табл. 1 и 2) с данными работ [8, 9], можно определенно говорить о хорошем совпадении. Авторы работ [8, 9] предложили эксимерный механизм формирования полос люминесценции в исследуемой области спектра. В этом есть определенный резон, т.к. в парных, в том числе и в эксимерных центрах, в твердом  $C_{60}$  может разрешаться электродипольный чисто электронный переход [11] в отличие от мономолекулярного центра свечения, где этот переход строго запрещен.

Чисто электронный переход был обнаружен в спектре люминесценции пленок  $C_{60}$  на длине волны 733 нм методом селективной лазерной спектроскопии [12]. Спектр возбуждения люминесценции кристалла  $C_{60}$  проявляет соответствующую резонансную полосу [11]. По-видимому, полосу люминесценции с максимумом вблизи 730 нм (см. табл. 1 и 2) нужно рассматривать как сильно неоднородно уширенную полосу, отвечающую чисто электронному переходу в паре молекул  $C_{60}$ , на которых возбуждение делокализовано [11]. По сути дела, может образовываться особый вид эксимера, который экспериментально наблюдался в кристаллах  $\alpha$ -перилена: это "рыхлый" эксимер, у которого энергия связи значительно меньше, чем у обычного эксимера [7, 34].

Трактовка остальных полос люминесценции затруднена из-за их большого неоднородного уширения, которое в полной мере проявляется в данной работе еще и потому, что для возбуждения люминесценции используется обычная газоразрядная лампа, а не узкополосный лазер. Сам же механизм большого неоднородного уширения полос люминесценции в твердом  $C_{60}$  представляет несомненный интерес, т.к. он связан с беспорядком в стеклообразной низкотемпературной фазе твердого  $C_{60}$  [12].

Таблица 2. Положение максимумов  $\lambda_{\text{max}}$  и относительная интенсивность  $I_{\text{max}}$  полос люминесценции свободной пленки  $C_{60}$

$\lambda_{\text{возб}} = 436 \text{ нм}$		$\lambda_{\text{возб}} = 546 \text{ нм}$		Данные [8, 9]
$\lambda_{\text{max}}, \text{ нм}$	$I_{\text{max}}, \text{ отн. ед.}$	$\lambda_{\text{max}}, \text{ нм}$	$I_{\text{max}}, \text{ отн. ед.}$	
697,5	9,5	698,0	5,5	701,6
—	—	—	—	714,5
729,0	39,0	730,0	21,5	731,0
—	—	—	—	745,0
769,0	48,0	769,5	23,5	762,0
812,5	54,5	816,5	23,0	814,0

В дальнейшем мы предполагаем исследовать низкотемпературную люминесценцию твердых свободных пленок  $C_{60}$  при различных условиях их приготовления.

Суммируя результаты проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что впервые исследованы спектры низкотемпературной фотолюминесценции свободных тонких монокристаллических пленок фуллерита  $C_{60}$  с параллельным электронографическим контролем их структуры. Наблюдалось влияние подложки NaCl на спектры люминесценции. Обсуждена предложенная ранее авторами [8, 9] эксимерная модель центров свечения.

1. Van den Heuvel D. J., Van Berg G. J. B., Groenen E. J. J. et al. Lowest excited singlet state of  $C_{60}$ : a vibronic analysis of the fluorescence // J. Phys. Chem. — 1995. — 99, N 30. — P. 11644—11649.
2. Diehl M., Degen J., and Schmidtke H.-H. Vibronic structure and resonance effects in the optical spectra of the fullerenes  $C_{60}$  and  $C_{70}$  // Ibid. — 1995. — 99, N 25. — P. 10092—10096.
3. Sassara A., Zerza G., and Chergui M. Phosphorescence of  $C_{60}$  in rare gas matrices // Chem. Phys. Letters. — 1996. — 261. — P. 213—220.
4. Matsushita M., Frens A. M., Groenen E. J. J. et al. Triplet excitations of crystalline  $C_{60}$  an optically detected magnetic-resonance study in zero field // Chem. Phys. Letters. — 1993. — 214, N 3, 4. — P. 349—352.
5. Ebbesen T. W., Mochksuki Y., Tanigaki K., and Hiura H. Direct observation of  $C_{60}$  exciton // Europhys. Letters. — 1994. — 25, N 7. — P. 503—508.
6. Muccini M., Danieli R., Zamboni R., Taliani C. et al. Location of the lowest exciton in  $C_{60}$  single crystal by two-photon excitation spectroscopy // Chem. Phys. Letters. — 1995. — 245. — P. 107—112.
7. Averitt R. D., Pippenger P. P., Papanyan V. O. et al. Photoluminescence spectra of epitaxial single crystal  $C_{60}$  // Ibid. — 1995. — 242. — P. 592—597.
8. Pippenger P. P., Averitt R. D., Papanyan V. O. et al. Excimer model for photoluminescence in single-crystal  $C_{60}$  // J. Phys. Chem. — 1996. — 100, N 8. — P. 2854—2861.
9. Поун М., Свенберг Ч. Электронные процессы в органических кристаллах. Т. 1. — М.: Мир, 1985. — 544 с.
10. Guss W., Feldmann J., Göbel E. O. Fluorescence from X traps in  $C_{60}$  single crystals // Phys. Rev. Letters. — 1994. — 72, N 16. — P. 2644—2647.
11. Van den Heuvel D.J., Chan I.Y., Groenen K. J. J. et al. On the fluorescence of crystalline  $C_{60}$  at 1,2 K // Chem. Phys. Letters. — 1995. — 233. — P. 284—290.
12. Bauer R. and Bogner U. Luminescence line narrowing in the low temperature glassy phase of solid // Ibid. — 1995. — 236. — P. 292—298.
13. Reber C., Yee L., Mc Kiernan J., Zink J. I. et al. Luminescence and absorption spectra of  $C_{60}$  films // J. Phys. Chem. — 1991. — 95, N 6. — P. 2127—2129.
14. Graham S. C., Pichler K., Friend R. H. et al. Photoluminescence in solid films of  $C_{60}$  // Synth. Metals. — 1992. — 49—50. — P. 531—535.



15. *Thomas T. N., Ryan J. F., Taylor R. A.* Time-resolved optical studies of photo-excited states in  $C_{60}$  // *Int. J. Mod. Phys. B.* — 1992. — 6, N 23, 24. — P. 3931—3934.
16. *Zhao W., Zhao T. N., Yuc J. J. et al.* Absorption and luminescence properties of  $C_{60}$  films on tin substrate // *Solid State Commun.* — 1992. — 84, N 3. — P. 323—326.
17. *Byrne N. J., Maser W., Rühle W. W. et al.* Time-resolved photoluminescence of solid state fullerenes // *Chem. Phys. Letters.* — 1993. — 204, N 5, 6. — P. 461—466.
18. *Shin E.-J., Park J., Lee M. et al.* Temperature-dependent photoluminescence study of  $C_{60}$  and  $C_{70}$  // *Chem. Phys. Letters.* — 1993. — 209, N 5, 6. — P. 427—433.
19. *Sauvajol J. L., Hricha Z., Coustel N. et al.* Photoluminescence of solid  $C_{60}$  // *J. Phys.: Condens. Matter.* — 1993. — 5. — P. 2045—2054.
20. *Haynes D. R., Tokmakoff A., and George S. M.* Temperature-dependent absolute fluorescence quantum yield of  $C_{60}$  multilayers // *Chem. Phys. Letters.* — 1993. — 214, N 1. — P. 50—56.
21. *Minami N., Kazaoui S., and Ross R.* Properties of electronic excited states of  $C_{60}$  thin films as seen from photoconductivity and luminescence behavior: dependence on excitation wavelength and temperature // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 1994. — 256. — P. 253—240.
22. *Andong X., Halbin P., Xinyi Z. et al.* Enhancement of photoluminescence and raman spectroscopy of undoped  $C_{60}$  film // *J. Luminescence.* — 1995. — 63. — P. 301—308.
23. *Sauvajol J.L., Blocard F., Hricha Z., and Zahab A.* Raman spectroscopy of  $C_{60}$  solid films // *Phys. Rev. B.* — 1995. — 52, N 20. — P. 14839—14849.
24. *Suto S., Kasuya A., Ikeno O. et al.* Vibrational modes of  $C_{60}$  fullerene on Si(100)2x1 surface // *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena.* — 1993. — 64/65. — P. 877—882.
25. *Wertheim O. K. and Buchanan D. N. E.* Reaction of  $C_{60}$  with metals: W // *Solid State Commun.* — 1993. — 88, N 2. — P. 97—100.
26. *Rosenberg A. and DiLella D. P.* Anomalously enhanced raman scattering from  $C_{60}$  on Ag surfaces // *Chem. Phys. Letters.* — 1994. — 223. — P. 76—81.
27. *Прихотько А. Ф., Соскин М. С., Томащук А. К.* Измерение поглощения тонких деформированных кристаллов нафталина // *Оптика и спектроскопия.* — 1964. — 16, № 4. — С. 615—618.
28. *Хирш П., Хови А., Николсон Р. и др.* Электронная микроскопия тонких кристаллов. — М.: Мир, 1968. — 574 с.
29. *Zhao W. B., Zhang X.-D., Luo K.-J. et al.* Growth and structure of  $C_{60}$  thin films on NaCl, glass and mica substrates // *Thin Solid Films.* — 1993. — 232, N 2. — P. 149—153.
30. *Li J., Komiya S., Tamura T. et al.* Growth and properties of pure  $C_{60}$  single crystals from vapor // *Physica C.* — 1992. — 195. — P. 203—208.
31. *Фоменко Л. С., Нацк В. Д., Лубенец С. В. и др.* Корреляция низкотемпературных аномалий микропластичности со структурными превращениями в кристаллах  $C_{60}$  // *Физика низких температур.* — 1995. — 21, № 4. — С. 465—468.
32. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование. — М.: Мир, 1975. — 534 с.
33. *Нерух Д. А.* Межчастичные взаимодействия и динамика молекул в электролитных растворах n-гексанола и ацетонитрила по данным колебательной спектроскопии: Автореферат дисс. ... канд. хим. наук / Харьковский гос. ун-т. — Харьков, 1996. — 16 с.
34. *Von Freydrorf E., Kinder J., and Michel-Beyerle M. E.* On low temperature fluorescence of perylene crystals // *Chem. Phys.* — 1978. — 27, N 1. — P. 199—209.

Физико-технический ин-т низких температур  
им. Б. И. Веркина НАН Украины  
Харьковский гос. политехн. ун-т  
Харьковский гос. ун-т