

ностей D и G-пиков. Согласно [4] рост соотношения I(D)/I(G) наблюдается при уменьшении размеров графитовых кристаллитов. Вместе с тем, выше нами было показано, что подогрев подложки приводит к росту размеров графитовых кристаллитов. Данное противоречие разрешается, если предположить, что полоса с максимумом в интервале 1390-1410 см⁻¹ не является D-пиком, а определяется наличием в образцах кластеров sp³-связанного углерода.

Заключение. Полученные в настоящей работе данные свидетельствуют о том, что рост структурного совершенства графитовой мишени приводит к улучшению структуры получаемых из нее АУП и к увеличению содержания в них sp³-связанного углерода. К тому же эффекту приводит и дополнительный подогрев подложки в процессе нанесения покрытия.

Литература

1. M. Bonelli, A.C. Ferrari, A. Fioravanti, A. Li Bassi, A. Miotello, and P.M. Ossi. The European Physical Journal 25, 269 (2002).
2. V.K. Goncharov, D.R. Ismailov, S.A. Petrov, M.V. Puzyrou Spectral properties of nanosizes diamond-like carbon films deposited on quarts and glass substrates using laser plasma deposition. Plasma Physics and Plasma Technology Proceedings (Minsk, 2006) p.653.
3. Рогайлин М.И., Чалых Е.Ф. Справочник по углеграфитовым материалам. Л., «Химия», 1974. 208 с.
4. F. Tuinstra and J. L. Koenig, J. Chem. Phys. 53, 1126 (1970).
5. D.Beeman, J.Silverman, R.Lynds, M.R.Anderson.//Phys.Rev.B. 30, 870 (1984)
6. M.Mermoux, F.Roy. B.Marcus et.al.// Diam.Rel.Mat. 5, 798 (1996).

*Г.Е. Рачковская, Г.Б. Захаревич, М.С. Гапоненко,
В.Г. Савицкий, А.М. Маляревич, К.В. Юмашев*
(Беларусь, Минск)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА СВИНЦА В БОРОСИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЕ

Исследование нелинейно-оптических свойств полупроводниковых наноразмерных структур позволяет разрабатывать на их основе новые оптические материалы для оптоэлектроники и лазерной техники. Одним из таких материалов является стекло, содержащее наночастицы полупроводникового соединения сульфида свинца

ца (PbS), которое может найти применение в качестве насыщающих поглотителей для пассивной модуляции добротности лазеров, излучающих в ближней ИК области спектра [1-3]. Оптические свойства наночастиц полупроводниковых соединений определяются в первую очередь их размером, но также зависят и от матрицы, в которую они внедрены. В настоящей работе были исследованы нелинейно-оптические свойства наночастиц PbS, для которых в качестве матрицы использовалось стекло боросиликатной системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

Для формирования в матричном боросиликатном стекле наночастиц полупроводниковой фазы PbS в качестве модификаторов использовались оксид свинца и сера, которые вводились непосредственно в шихту, приготовленную из компонентов стекла. Процесс изготовления наноструктурированного стекломатериала включал две стадии: первая – высокотемпературный синтез, позволяющий получить гомогенное, однородное стекло, и вторая – термическая обработка стекла, в результате которой происходит зарождение центров кристаллизации полупроводниковой фазы PbS и их рост. Температурно-временной режим термообработки стекла является определяющим моментом в процессе диспергирования наночастиц PbS в стеклянной матрице. Варьируя температуру и время термообработки стекла, нами сформированы наночастицы PbS размером от 3,4 до 8,0 нм. Оптимизированы технологические режимы термообработки, позволяющие направленно вести процесс формирования наночастиц PbS заданного размера.

Спектр поглощения боросиликатного стекла с наночастицами PbS среднего диаметра 4,0 нм, представлен на рис.1. Максимум полосы поглощения, соответствующей основному оптическому переходу в системе уровней размерного квантования наночастиц PbS, находится на длине волны 1020 нм. Спектральная область

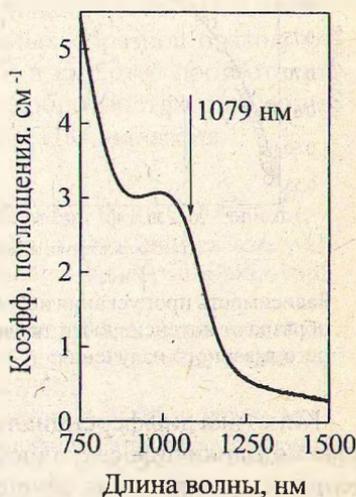


Рис. 1

Спектр поглощения боросиликатного стекла, содержащего наночастицы PbS.

в районе 1 мкм вызывает интерес в связи с тем, что именно в ней находятся длины волн генерации лазеров на ионах Nd^{3+} и Yb^{3+} . Исследование нелинейного пропускания проводилось по однолучевой методике на длине волны 1079 нм импульсами Nd:YAlO_3 лазера с длительностью 15 пс. Результаты представлены на рис.2 (точки - экспериментальные данные, кривая - результаты расчета). С увеличением интенсивности падающего излучения пропускание образца увеличивается (т.н. эффект просветления). Анализ экспериментальных данных проводился с использованием модифицированного уравнения Авизониса-Гротбека [4]:

$$\frac{dF}{dz} = F_s \frac{\ln T_0}{L} [1 - \exp(-F/F_s)] - \alpha_b F,$$

где F - плотность энергии, F_s - интенсивность насыщения поглощения, T_0 и L начальное пропускание образца и его толщина, соответственно, α_b - коэффициент ненасыщаемого поглощения.

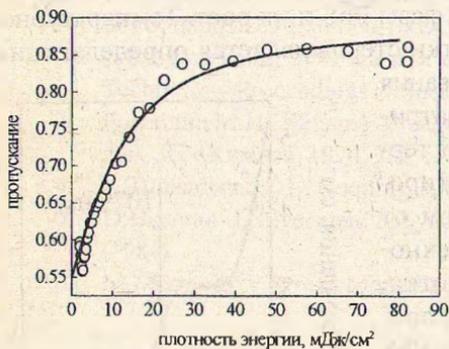


Рис. 2

Зависимость пропускания исследуемого образца от интенсивности падающего на него лазерного излучения.

Оценены величины интенсивности насыщения поглощения и поперечного сечения поглощения, которые составили $F_s = 5.3$ мДж/см² и $\sigma = 3.5 \cdot 10^{-17}$ см², соответственно. Коэффициент ненасыщаемого поглощения, обусловленного поглощением из возбужденного состояния носителями заряда в наночастицах PbS , а также поглощением и рассеянием света на неоднородностях стеклянной матрицы, составляет $\alpha_{nc} = 0.8$ см⁻¹.

Кинетика дифференциального поглощения исследовалась с помощью методики пикосекундной абсорбционной спектроскопии. Возбуждение и зондирование осуществлялись на длине волны 1079 нм импульсами лазера на $\text{Nd}^{3+}:\text{YAlO}_3$ с пассивной синхронизацией мод (длительность импульса 15 пс). Плотность потока излучения возбуждения, падающего на образец, составляла ~ 3 мДж/см². Результаты представлены на рис. 3. Релаксация просветления носит двухком-

поэкспоненциальный характер. Экспериментальные данные были проанализированы в рамках модели двухэкспоненциального распада:

$$-\Delta OD = A_1 e^{-t/\tau_1} + A_2 e^{-t/\tau_2},$$

где A_1 , A_2 , τ_1 и τ_2 – амплитуды и времена быстрой и медленной компоненты релаксации просветления.

Быструю компоненту релаксации просветления связывают с прямой рекомбинацией носителей заряда [5]. Ее время составляет 23 пс. Медленную компоненту связывают

с релаксацией через глубокие ловушечные состояния. Для исследованного образца время медленной компоненты релаксации просветления составляет более 0.5 нс. Отношение амплитуд быстрой и медленной компонент релаксации A_1/A_2 равно 14.

В заключение следует отметить, что полученные величины интенсивности насыщения поглощения ($F_s = 5,3$ мДж/см²) и времени быстрой компоненты релаксации просветления ($\tau_1 = 23$ пс), а также высокая лучевая прочность синтезированных образцов позволяют говорить об их возможном использовании в качестве позволяющих фильтров для пассивной модуляции добротности и синхронизации мод твердотельных лазеров ближнего ИК диапазона.

Литература

1. J.E. Philips, T. Topfer, H. Ebendorff-Heidepriem, D. Ehrh, R. Sauerbrey, N.F. Borelli. Diode-pumped erbium-ytterbium-glass laser passively Q-switched with a PbS semiconductor quantum-dot doped glass, Appl. Phys. B 72, P. 175-178 (2001).
2. A.M. Malyarevich, I.A. Denisov, V.G. Savitsky, K.V. Yumashev, A.A. Lipovskii Glass doped with PbS quantum dots as passive Q-switch for 1.54 μ laser, Appl. Optics 39, P. 4345-4347 (2000).
3. Г.Е. Рачковская, Г.Б. Захаревич, К.В. Юмашев, А.М. Маляревич, М.С. Гапоненко, Стекла с наночастицами сульфида свинца для лазерной техники, Стекло и керамика, №10 (2004).
4. Y.-K. Kuo, M.F. Huang, M. Birnbaum, Tunable Cr⁴⁺:YSO Q-switched Cr:LiCAF laser, IEEE J. Quantum Electr. 31, P. 657-663 (1995).
5. V. G. Savitski, A. M. Malyarevich, K. V. Yumashev, H. Raaben, A. A. Zhilin, Intensity dependent bleaching relaxation in PbS quantum dots, J. Opt. Soc. Am. B (2005).

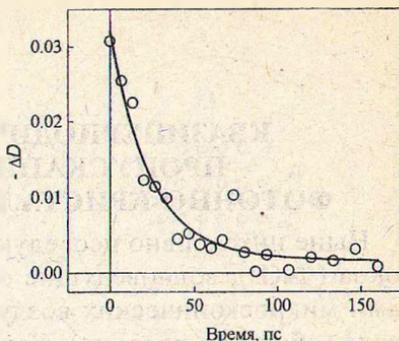


Рис. 3

Кинетика восстановления начального пропускания.