

УФ детекторы на основе поликристаллических алмазных пленок для эксимерных лазеров

В.Г.Ральченко, А.В.Савельев, В.И.Конов, Дж.Маццео, Ф.Спацциани, Дж.Конте, В.И.Поляков

На основе поликристаллических алмазных пленок сконструированы фоторезистивные детекторы типа металл–полупроводник–металл для регистрации непрерывного и импульсного УФ излучения, имеющие высокую спектральную селективность фотоотклика (отношение сигналов в УФ и видимом диапазонах около 10^5) и временное разрешение порядка 10^{-9} с. «Солнечно-слепые» радиационно стойкие алмазные детекторы перспективны для использования в УФ литографии, лазерной микрообработке, медицине, космических исследованиях.

Ключевые слова: алмазные пленки, УФ фотодетектор, ArF-лазер.

Широкое применение эксимерных лазеров для микрообработки, в фотолитографии, медицине требует создания стабильных радиационно стойких детекторов для контроля дозы излучения, положения лазерного пучка, формы импульса. Продвижение в сторону более коротких длин волн, от 248 нм (KrF-лазер) и 193 нм (ArF-лазер) до 157 нм (F₂-лазер), сопровождается снижением эффективности кремниевых детекторов, в которых поглощение квантов происходит в слишком тонком приповерхностном слое, а пороговые дозы деградации недостаточно велики. В последнее время возрос интерес к УФ детекторам на алмазных пленках [1–3]. Это обусловлено возможностью использования этого радиационно стойкого широкозонного материала (5.45 эВ) с удельным сопротивлением $10^{11} – 10^{15}$ Ом·см для создания детекторов фоторезистивного типа с низкими (менее 10 пА) темновыми токами, малой чувствительностью в видимом диапазоне и порогами разрушения ~ 100 мДж/см² для ArF-лазера с длительностью импульса 20 нс [3]. В настоящей работе исследованы спектральная фоточувствительность детекторов на поликристаллическом алмазе газофазного синтеза и его фотоотклик на импульсное излучение ArF-лазера.

Детекторы изготовлены на поликристаллических (размер зерна около 100 мкм) алмазных пластинах 10×10 мм толщиной 0.4 и 0.8 мм, которые вырезаны лазером из алмазных дисков диаметром 60 мм, выращенных в плазмохимическом реакторе с СВЧ разрядом (5 кВт, 2.45 ГГц) в среде CH₄–H₂ [4]. После полировки поверхности и окисления в воздухе (580 °С) для удаления гидрогенизованного слоя с повышенной проводимостью, с помощью фотолитографии формировалась решетка облада-

ющих омическим контактом встречно-штыревых электродов Au–Cr с периодом 100 мкм, зазором 50 мкм и площадью 12 мм².

Для изучения спектрального фотоотклика при стационарном освещении использовали Хе-лампу (Сermax, 300 Вт), служившую источником излучения, и двойной монохроматор Spex 1680В. Световой поток модулировался обтюратором с частотой $f = 13 – 700$ Гц, фототок измерялся с помощью резонансного усилителя EG&G 5210. Импульсное облучение осуществлялось ArF-лазером (Neweks PSX100, длительность импульса 3.5 нс, энергия 5 мДж). Плотность энергии на образце варьировалась переотражением в системе зеркал. Для записи формы лазерного импульса использовался вакуумный ФЭУ Hamamatsu H8496-11. Импульс фототока регистрировался осциллографом LeCroy (модель WavePro 960, полоса пропускания 2 ГГц) как величина напряжения на входном сопротивлении 50 Ом.

Спектральная фоточувствительность в диапазоне 190–1000 нм при напряжении смещения на электродах $V_b = 50$ В приведена на рис.1. Фототок остается низким в видимом диапазоне, резко нарастая с приближением к краю фундаментального поглощения алмаза при 225 нм, где фоточувствительность составляет 0.8 А/Вт. Спе-

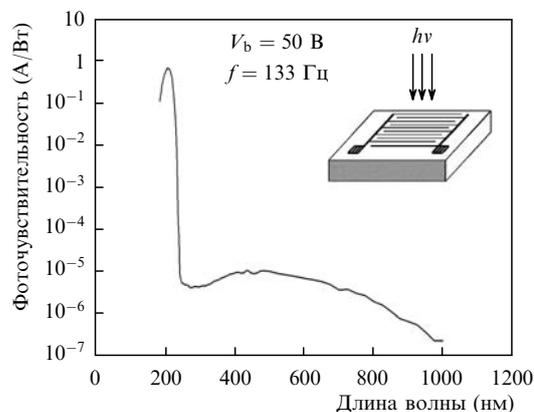


Рис.1. Спектральная фоточувствительность при квазистационарном освещении. Напряжение смещения $V_b = 50$ В, частота модуляции $f = 133$ Гц. На вставке – геометрия электродов.

В.Г.Ральченко, А.В.Савельев, В.И.Конов. Центр естественно-научных исследований Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: ralchenko@nsc.gpi.ru, savel@ran.gpi.ru; vik@nsc.gpi.ru

G. Mazzeo, F. Spaziani, G. Conte. University of Rome 'Roma Tre', Via della Vasca Navale, 84-00146 Rome, Italy

В.И.Поляков. Институт радиотехники и электроники РАН, Россия, Московская обл., 141120 Фрязино, пл. акад. Введенского, 1; e-mail: pvi@aha.ru

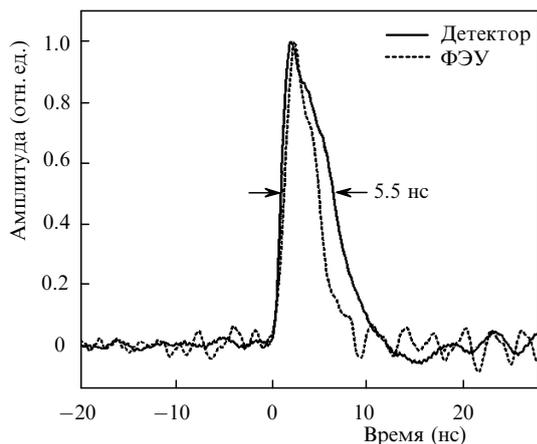


Рис.2. Типичная кинетика фотоотклика детектора (сплошная линия) на импульсе ArF-лазера (пунктир).

ктральная селективность – отношение фотооткликов в УФ и видимом диапазонах, очень высока (достигает 10^5), что подтверждает справедливость отнесения детектора к категории «солнечно-слепых». Селективность сохраняется и при высоких температурах, по меньшей мере до 300°C [5]. Чувствительность при еще более коротких длинах волн ($\lambda < 200\text{ нм}$) падает из-за поверхностной рекомбинации генерируемых носителей заряда. Нежелательный, хотя и достаточно низкий фотоотклик в видимом диапазоне обусловлен оптическим поглощением на дефектных и примесных уровнях внутри запрещенной зоны. Линейная зависимость фототока от напряжения смещения на электродах сохранялась в диапазоне напряжений $V_b = 0.2\text{--}20\text{ В}$ (т.е. для полей с напряженностью $40\text{--}4000\text{ В/см}$). При $V_b = 10\text{ В}$ темновой ток I_d составлял около 10 пА . Температурная зависимость $I_d(T)$ имела аррениусовский вид с энергией активации 1.06 эВ .

Типичная кинетика фотоотклика на лазерный импульс представлена на рис.2. Сигнал детектора в целом хорошо повторяет форму импульса, но его полная ширина (на полувысоте), равная 5 нс , больше ширины импульса (3.5 нс). Уширение сигнала связано, вероятно, со значительным временем рекомбинации носителей, которое в высококачественных образцах поликристаллического алмаза может превышать 1 нс [6]. Лучшее быстродействие, но ценой снижения чувствительности, можно получить для детекторов из дефектного алмаза.

Зависимость амплитуды фотоотклика I от плотности энергии E в импульсе (рис.3) может быть описана степенной функцией $I \sim E^\beta$, причем наблюдается переход от линейного режима ($\beta = 1$) при $E < 20\text{ мкДж/см}^2$ к сублинейному ($\beta = 0.5$) при более высоких плотностях энергии. Этот переход интерпретирован в [2] как результат смены мономолекулярного ($\beta = 1$) механизма рекомбинации носителей, т.е. рекомбинации на дефектах в алмазе, прямым бимолекулярным механизмом ($\beta = 0.5$). С дальнейшим ростом E и при достаточно высокой концентрации носителей заряда их подвижность снижается из-за приобретающего важность рассеяния носителей друг на друге, что может быть одной из причин насыщения сигнала при $E > 50\text{ мкДж/см}^2$.

Дозовых испытаний на стабильность детекторов мы не проводили, однако в [7] сообщалось, что для подоб-

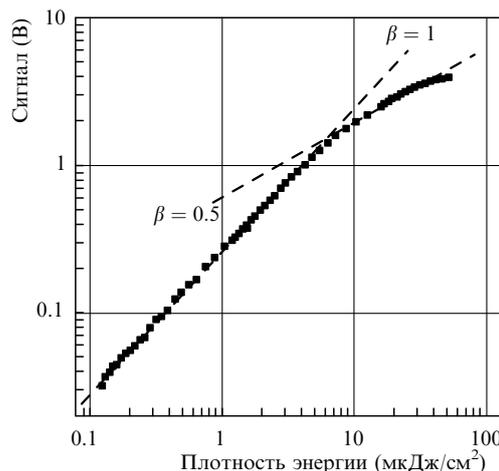


Рис.3. Зависимость амплитуды фотоотклика I от плотности энергии E в импульсе ArF-лазера. Штриховые прямые – аппроксимации $I \sim E^\beta$ для $\beta = 1$ и 0.5 .

ных УФ детекторов на алмазных пленках получены данные о неизменности основных параметров (темновой ток, спектральная fotocувствительность, форма сигнала) при экспозициях до 10^6 импульсов ArF-лазера и плотности энергии 1 мДж/см^2 , что близко к требованиям промышленных систем, например для УФ литографии.

Таким образом, продемонстрирована возможность создания «солнечно-слепых» (спектральная селективность фотоотклика порядка 10^5) УФ фотодетекторов на алмазных пленках для регистрации непрерывного и импульсного излучения с временным разрешением в наносекундном диапазоне. Большие размеры алмазных пленок (порядка $10\text{--}100\text{ см}^2$) обуславливают перспективы их использования при создании радиационно стойких позиционно-чувствительных [8] и микрополосковых детекторов излучения УФ и рентгеновского диапазонов [9]. Высокая радиационная стойкость алмаза позволяет рассматривать его как материал УФ детектора для космических летательных аппаратов [10].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-02-08076-офи_э).

1. Polyakov V.I., Rukovishnikov A.I., Rossukanyi N.M., et al. *Diamond and Related Materials*, **7**, 821 (1998).
2. Mazzeo G., Salvatori S., Rossi M.C., Conte G., Castex M.-C. *Sensors and Actuators A*, **113**, 277 (2004).
3. Whitfield M.D., Lansley S.P., Gaudin O., McKeag R.D., Rivzi N., Jackman R.B. *Diamond and Related Materials*, **10**, 693 (2001).
4. Ralchenko V., Galkina T., Klovov A., Sharkov A., Chernook S., Martovitsky V. *Science and Technology of Semiconductor-On-Insulator Structure and Devices Operating in a Harsh Environment*. Ed. by D. Flandre et al. (Amsterdam: Kluwer, 2005, p. 77).
5. Salvatori S., Rossi M.C., Scotti F., Conte G., Galluzzi F., Ralchenko V. *Diamond and Related Materials*, **9**, 982 (2000).
6. Garnov S.V., Ritus A.I., Klimentov S.M., Pimenov S.M., Konov V.I., Gloor S., Luethy W., Weber H.P. *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 1731 (1999).
7. Whitfield M.D., Lansley S.P., Gaudin O., McKeag R.D., Rivzi N., Jackman R.B. *Diamond and Related Materials*, **10**, 715 (2001).
8. Mazzeo G., Conte G., Rossi M.C., Salvatori S., Ralchenko V. *Phys. Stat. Sol. (c)*, **1**, 261, (2004).
9. Ciancaglioni I., Spaziani F., Rossi M.C., Conte G., Kononenko V., Ralchenko V. *Diamond and Related Materials*, **14**, 526 (2005).
10. Hochedez J-F., Bergonzo P., Castex M.-C., et al. *Diamond and Related Materials*, **10**, 673 (2001).