

К. ф.-м. н. К. В. КОЛЕЖУК, д. ф.-м. н. В. Н. КОМАЩЕНКО,
Н. В. ЯРОШЕНКО, Г. И. ШЕРЕМЕТОВА, А. С. МАЙСТРЕНКО

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников
им. В. Е. Лашкарёва
E-mail: komas@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
07.07 2005 г.

Оппонент к. ф.-м. н. В. А. БОРЩАК
(ОНУ им. И. И. Мечникова, г. Одесса)

ЭКСПРЕССНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ УФ-А И УФ-В+С

Предложены метод и портативный прибор для измерения мощности ультрафиолетовой радиации в «мягком», «эритемном» и «жестком» диапазонах спектра.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение Солнца в спектральной области 200—400 нм принято разделять на три поддиапазона [1]: УФ-А (320—400 нм) — «мягкое» УФ-излучение; УФ-В (280—320 нм) — «эритемное», биологически активное УФ-излучение (активизирует биологические процессы в живых клетках); УФ-С (200—280 нм) — «жесткое» УФ-излучение (угнетает биологические процессы, приводит к возникновению злокачественных опухолей кожи и меланом). Поэтому измерение мощности УФ-излучения в указанных спектральных областях является актуальной проблемой.

Использование традиционных полупроводниковых УФ-сенсоров (например кремниевых) и набора специальных (и — дорогостоящих) интерференционных фильтров позволяет, в принципе, создавать приборы, селективно регистрирующие УФ-А-, УФ-В- и УФ-С-излучение. Однако при этом вступают в противоречие требования обеспечения надежности измерений, портативности прибора и его себестоимости. Так, даже один интерференционный фильтр в несколько раз уменьшает величину полезного сигнала сенсора. Кроме того, интерференционные фильтры имеют вторичные максимумы пропускания, которые нужно подавлять другими фильтрами, что еще более снижает величину полезного сигнала и усложняет решение задачи. К тому же такой прибор будет дорогим.

В настоящей работе описан простой метод измерения мощности ультрафиолетовой радиации Солнца в УФ-А- и УФ-В+С-диапазонах спектра и портативный прибор, его реализующий.

Мощность поглощенного сенсором оптического излучения определяется соотношением:

$$P_{\Delta\lambda} = \frac{I_{\phi}}{S_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \mathfrak{R}(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где I_{ϕ} — интегральный фототок сенсора, спектральная чувствительность которого ограничена диапазоном длин волн $\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$;

S_0 — площадь его фотоактивной поверхности;
 \mathfrak{R} — чувствительность сенсора.

Ранее сообщалось [2] о разработанных нами селективных и широкополосных УФ-сенсорах на основе многослойных гетероструктур широкозонных соединений A^2B^6 . Отличительной особенностью таких фотоприемников является отсутствие чувствительности к видимому и инфракрасному излучению без применения специальных оптических фильтров.

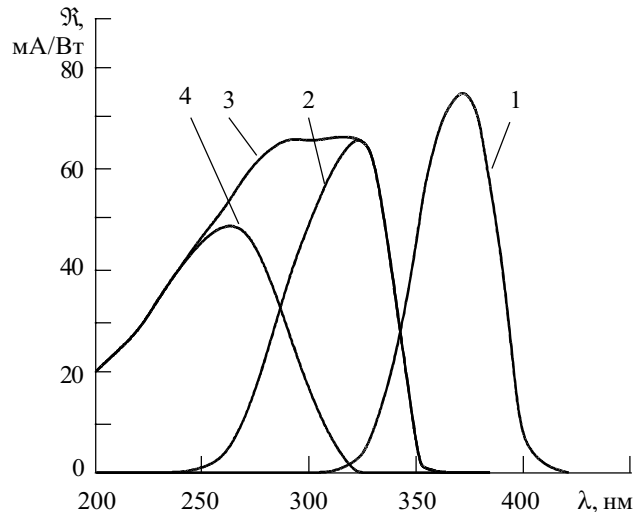


Рис. 1. Абсолютная спектральная чувствительность использованных УФ-сенсоров ($T=300$ К, эффективная активная поверхность сенсоров $S_0=0,045$ см²): 1 — SUUV-5; 2 — SUUV-2; 3 — SUUV-1; 4 — гипотетический сенсор, чувствительный в УФ-В+С-диапазонах

На рис. 1 представлены зависимости $\mathfrak{R}=f(\lambda)$ трех из описанных в [2] сенсоров. Как видно, область спектральной чувствительности сенсора SUUV-5 (кривая 1) соответствует УФ-А-поддиапазону (на уровне 5% от \mathfrak{R}_1^{\max}). Легко показать (с помощью, например, графического интегрирования), что в этом случае мощность падающего на сенсор УФ-А-излучения равна

$$P_A = I_{\phi 1} / (S_0 \mathfrak{R}_1^{\max} F_1), \quad (2)$$

где $I_{\phi 1}$ — интегральный, экспериментально измеренный в режиме «короткого замыкания», фототок сенсора SUUV-5, мА;

\mathfrak{R}_1^{\max} — чувствительность в максимуме кривой 1 рис. 1, мА/Вт;

F_1 — коэффициент, $F_1 = S_1/S_2$;

S_1 — площадь под кривой 1 в интервале $\lambda=320...400$ нм;

S_2 — площадь прямоугольника, в который вписана кривая 1 (в интервале $\lambda=320...400$ нм).

Мощность ультрафиолетового излучения в спектральной области УФ-В+С можно определить следующим образом. Кривые 2 и 3 на рис. 1 относятся к сенсорам SUV-2 и SUV-1, соответственно. Фоточувствительные элементы сенсоров изготовлены на основе одного и того же полупроводникового материала, поэтому спектральный ход длинноволнового крыла зависимостей $\mathfrak{R}_2=f_2(\lambda)$ и $\mathfrak{R}_3=f_3(\lambda)$ у них идентичен. Кроме того, сенсоры отобраны таким образом, что положение и величины максимумов функций $f_2(\lambda)$ и $f_3(\lambda)$ совпадают при $\lambda=320$ нм. Произведя поточечное вычитание зависимостей $\mathfrak{R}_3=f_3(\lambda)$ и $\mathfrak{R}_2=f_2(\lambda)$, получим функцию $f_4(\lambda)$. Кривую $\mathfrak{R}_4=f_4(\lambda)$ можно считать спектральной зависимостью гипотетического селективного сенсора, чувствительного лишь в диапазоне длин волн 200—320 нм (рис. 1, кривая 4).

Рассуждая аналогично вышеприведенному случаю определения P_A , запишем мощность УФ-излучения в диапазоне $\lambda < 320$ нм:

$$P_{В+С} = (I_{\Phi 3} - I_{\Phi 2}) / (S_0 \mathfrak{R}_4^{\max} F_4) \text{ мВт/см}^2, \quad (3)$$

где $I_{\Phi 3}$ — интегральный фототок сенсора SUV-1;
 $I_{\Phi 2}$ — интегральный фототок сенсора SUV-2 (для всех использованных сенсоров $S_0=0,045 \text{ см}^2$);
 \mathfrak{R}_4^{\max} — чувствительность в максимуме кривой 4 рис. 1;
 $F_4 = S_4 / S_5$;
 S_4 — площадь под кривой 4 в интервале $\lambda=200 \dots 320$ нм;
 S_5 — площадь прямоугольника, в который вписана кривая 4 (в интервале $\lambda=200 \dots 320$ нм).

Отметим, что при обычных условиях (воздушная масса AM1,5 и отсутствие “озоновой дыры”) на земную поверхность не проникает излучение Солнца с $\lambda < 295$ нм. Это значит, что описанным методом мы измеряем, по сути, эритемную радиацию. Необходимо заметить также, что все полупроводниковые фотоприемники чувствительны в длинноволновой области за краем фундаментального поглощения использованного полупроводника (для разных типов приемников доля этой чувствительности составляет примерно 1—0,01 % от \mathfrak{R}^{\max}). В то же время интегральная мощность солнечного излучения вне пределов УФ-диапазона значительно превышает (более двух порядков величины) мощность ультрафиолетовой радиации. По указанным причинам точность измерения УФ-радиации в значительной мере определяется качеством блокировки длинноволновой составляющей.

Одной из важных характеристик предлагаемого метода определения мощности ультрафиолетового излучения в спектральном диапазоне УФ-В+С является исключение возможного вклада длинноволновой компоненты солнечного спектра ($\lambda > 320$ нм).

Описанный метод реализован в созданном портативном измерителе мощности ультрафиолетового излучения в диапазонах УФ-А и УФ-В+С. Блок-схема прибора представлена на рис. 2.

Выносная головка 1, в которой смонтированы три специально подобранных градуированных УФ-сенсора (SUV-1, SUV-2 и SUV-5), установлена на шар-

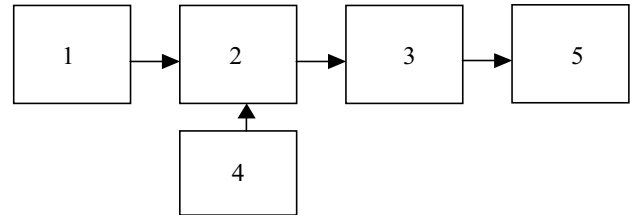


Рис. 2. Блок-схема измерителя УФ-мощности: 1 — выносная головка с тремя сенсорами; 2 — усилитель-преобразователь тока в напряжение; 3 — микроконтроллер; 4 — блок питания; 5 — ЖКИ-экран

нирном штативе, позволяющем фиксировать положение головки в телесном угле 180° . Так как сами сенсоры являются фотопреобразователями и на солнечном свете без приложенного к ним напряжения вырабатывают ток 0,1—2,0 мкА, то для правильного определения мощности УФ-излучения в указанных диапазонах нужно установить плоскость выносной головки прибора перпендикулярно УФ-излучению. Микроконтроллер 3 позволяет преобразовать сигнал в цифровой вариант с последующей обработкой этого сигнала в соответствии с формулами (2) и (3). При этом величины $(S_0 \mathfrak{R}_1^{\max} F_1)$ и $(S_0 \mathfrak{R}_4^{\max} F_4)$ определяются во время отбора и градуировки сенсоров и являются индивидуальными константами для каждого прибора. Блок питания 4 может быть представлен в виде солнечной батареи или малогабаритного аккумулятора. ЖКИ-экран 5 представляет результат измерений мощности УФ-излучения в УФ-А- и УФ-(В+С)-диапазонах в мВт/см².

Динамический диапазон измерений составляет $4 \cdot 10^{-5}$ — 40 мВт/см². Натурные испытания (естественное солнечное освещение, безоблачный летний полдень, широта г. Киева) позволили получить следующие значения мощности солнечной радиации: $P_A=7$ мВт/см²; $P_{В+С}=P_B=0,3$ мВт/см². Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными, опубликованными в [3, с. 183].

Таким образом, предложены метод и портативный прибор для измерения мощности ультрафиолетовой радиации Солнца в УФ-А- и УФ-В+С-диапазонах. Созданный прибор может быть использован как для специального мониторинга УФ-излучения Солнца (например, для фиксирования появления “озоновой дыры”), так и для индивидуального контроля уровня опасной для здоровья эритемной радиации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Yang W., Vispute R. D., Choopun S. et al. Ultraviolet photoconductive detector based on epitaxial $Mg_{0,34}Zn_{0,66}O$ thin films // Appl. Phys. Lett.— 2001.— Vol. 78, N 18.— P. 2787—2789.
2. Колежук К. В., Комащенко В. Н., Шереметова Г. И. и др. Новое поколение фотоприемников ультрафиолетового излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2003.— № 3.— С. 51—52.
3. Колтун М. М. Солнечные элементы.— М.: Мир, 1987.