

Как показано на рисунке 1, пиковая интенсивность ФНС превышает интенсивность падающего поля более чем в семь раз.

Таким образом, посредством выбора структуры экспонирующего волнового поля достигается улучшение параметров ФНС.

Литература

1. Соифер В.А. Дифракционная нанофотоника и перспективные информационные технологии / В.А. Соифер // Вестн. РАН. – 2014. – Т. 84, № 1. – С. 11–22.

2. Chen Z. Photonic nanojet enhancement of backscattering of light by nanoparticles / Z. Chen, A. Taflove, V. Backman // Optics Express. – 2004. – № 12(7). – P. 1214–1220.

3. Гейнц Ю.Э. Эффект фотонных наноструй в многослойных микронных сферических частицах / Ю.Э. Гейнц, А.А. Землянов, Е.К. Панина // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 6. – С. 520–525.

4. Минин И.В. Фотоника изолированных диэлектрических частиц произвольной трехмерной формы – новое направление оптических информационных технологий / И.В. Минин, О.В. Минин // Вестник Новосибир. гос. ун-та. – 2014. – Т. 12, вып. 4. – С. 59–70.

5. Котляр В.В. Фотонные струи, сформированные квадратными микроступеньками / В.В. Котляр, С.С. Стафеев, А.Ю. Фельдман // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 72–80.

6. Heifetz A. Photonic Nanojets / A. Heifetz, S.-C. Kong, A.V. Sahakiana, A. Taflove, V. Backman // J. Comput. Theor. Nanosci. – 2009. – V.6, № 9. – P. 1979–1992.

7. Chen Z. Optical analysis of nanoparticles via enhanced backscattering facilitated by 3-D photonic nanojets / Z. Chen, A. Taflove, V. Backman // Optics Express. – 2005. – № 13(2). – P. 526–533.

8. Kong S.-C. Robust detection of deeply subwavelength pits in simulated optical data-storage disks using photonic jets / S.-C. Kong, A. Sahakian, A. Heifetz, A. Taflove, V. Backman // Appl. Phys. Lett. – 2008. – V. 92. – P. 211102.

УДК 673.2.082

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ НИЗКОЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩИХ СЕНСОРОВ С ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ СЛОЯМИ $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{SnO}_2$

Реутская О.Г.¹, Таратын И.А.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»
Минск, Республика Беларусь

Физико-химические процессы, происходящие в полупроводниковых сенсорах обусловлены конструктивными особенностями и составом газочувствительных слоев на их поверхности. Выбор такого слоя обеспечивает стабильный и избирательный сигнал при определении горючих и токсичных газов. Для обеспечения развитой сенсорной поверхности широко используются полупроводниковые нанодисперсные материалы, полученные золь-гель методом. Высокую чувствительность к NO_2 позволяют достигать слои на основе оксида олова. Ввиду свойств полупроводниковых материалов в газовых сенсорах наблюдается эффект фотопроводимости, который обеспечивается механизмами рекомбинации зарядов в приповерхностных слоях при воздействии светового излучения [1].

В данной работе представлены результаты изучения фотопроводимости сенсорных устройств при энергопотреблении от 1 до 10 мВт. Также проведено исследование температуры поверхности сенсора и установлена высокая чувствительность газочувствительного слоя $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{SnO}_2$.

Для проведения экспериментов был выбран сенсор на подложке из пористого оксида алюминия толщиной 55–60 мкм. Фотографическое изображение сенсора в корпусе без газопроницаемого колпака представлено на рисунке 1.

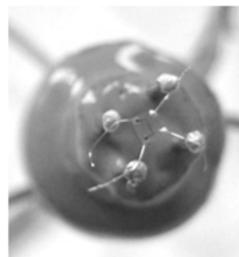


Рисунок 1 – Изображение сенсора без газопроницаемого колпака

Размер чувствительного элемента – $1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$. Нагреватель и информационные электроды располагаются на разных сторонах подложки. Формирование топологии сенсорного устройства осуществлялось с использованием технологических процессов фотолитографии, что позволило получить нагреватель шириной 7 мкм. Применение пористой алюмооксидной подложки предназначено для снижения энергопотребления сенсорного устройства до 10 мВт.

В качестве газочувствительного слоя был выбран золь-гель на основе оксидов индия и олова. На поверхность сформированного слоя наносилась капля содержащая углеродные нанотрубки. Было установлено, что при воздействии светового потока от лампы дневного света наблюдается изменение электросопротивления сенсора.

Особый интерес представляет измерение выходных характеристик сенсора при энергопотреблении менее 10 мВт [2].

На рисунке 2 представлена зависимость электросопротивления сенсора с потребляемой мощностью 1,2 мВт при воздействии дневного света на поверхность сенсора.

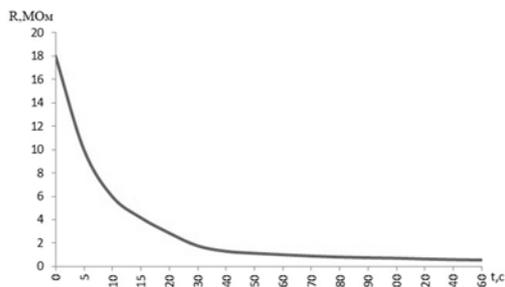


Рисунок 2 – Зависимость электросопротивления от времени при воздействии света ($P = 1,2$ мВт)

Как видно из рисунка 2 наблюдается значительное изменение электросопротивления. В течение 160 с происходит стабилизация значения R , при чем оно не превышает 700 кОм. Что позволяет проводить измерение газовой чувствительности сенсора при низком энергопотреблении.

Для определения влияния потребляемой мощности и освещения на выходные характеристики сенсоров были проведены измерения электросопротивления при потребляемой мощности 7,8 мВт. Результаты исследования представлены на рисунке 3.

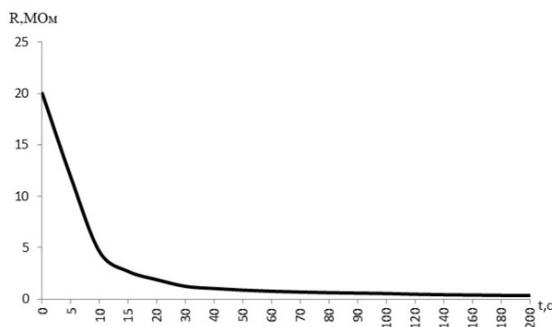


Рисунок 3 – Зависимость электросопротивления от времени при воздействии света ($P = 7,8$ мВт)

Как видно из рисунка 3 при увеличении мощности также наблюдается изменение электросопротивления. Значение R уменьшается, и стабилизация сигнала происходит за время 200 с. Следует отметить, что с увеличением потребляемой мощности до 14 мВт влияние светового потока и как следствие проявление эффекта фотопроводимости более значимо, что отражается на выходном сигнале сенсорного устройства. Для уменьшения влияния освещения в полупроводниковых датчиках чаще всего применяют газопроницаемые колпаки с мелкой сеткой или из прессованных материалов, например, оксида титана.

В свою очередь эффект фотопроводимости можно применять для снижения потребляемой мощности сенсоров, а также при обработке выходных сигналов газовых датчиков [1].

Результаты зависимости потребляемой мощности от температуры поверхности сенсора представлены на рисунке 4.

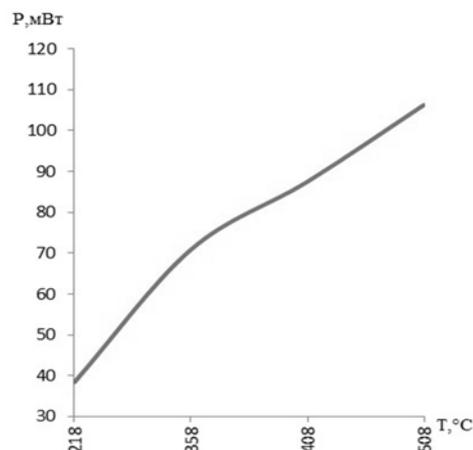


Рисунок 4 – Зависимость потребляемой мощности от температуры нагрева газочувствительного слоя

С увеличением потребляемой мощности более 30 мВт влияние светового потока на данной конструкции не оказало существенного влияния на измеряемое электросопротивления, что может быть связано с температурой нагрева газочувствительной поверхности сенсора. Установлено, что с газочувствительным слоем $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{SnO}_2$ с добавлением углеродных нанотрубок рабочий диапазон температур 200–400 °C достижим при мощности 35–80 мВт. Выбор режима измерения определяется видом детектируемого газа и чувствительностью сенсора к нему. Сенсор с данным газочувствительным слоем показал высокую чувствительность (более 50 %) после 20 с от начала измерения с потребляемой мощностью 35 мВт при воздействии NO_2 (концентрация 2 ppm) и быстрое время восстановления электросопротивления после отмены подачи газа на него. Результаты измерения выходного сигнала представлены на рисунке 5.

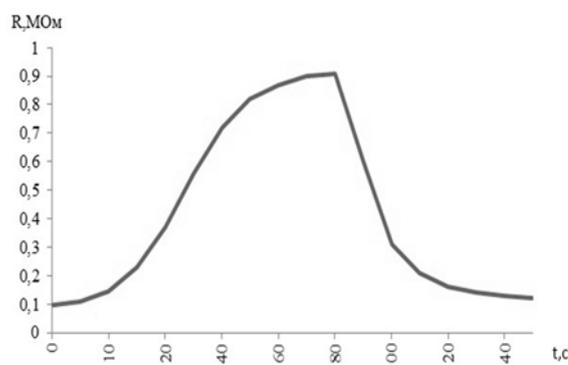


Рисунок 5 – Изменение электросопротивления при воздействии NO_2 с концентрацией 2 ppm

Процессы фотопроводимости в полупроводниковых сенсорах позволяют дополнительно регулировать изменение выходных характеристик, что следует учитывать при выборе режимов обработки данных, поступающих от газовых датчиков. Применение золь-гелей на основе оксидов индия и олова с добавлением углеродных нанотрубок показывают высокий сенсорный отклик при измерении низких концентраций оксида азота для низко-энергопотребляющих сенсоров в целом.

Литература

1. Ilin A. UV effect on NO₂ sensing properties of nanocrystalline In₂O₃ / A. Ilin [et al.] // *Sensors and Actuators*, В: Chemical. – 2016. – V. 231. – P. 491–496.
2. Реутская О.Г. Полупроводниковые газовые сенсоры с низким энергопотреблением для контроля H₂ и CO на подложке из наноструктурированного γ -Al₂O₃ / О.Г. Реутская // *Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. – 2013. / Ин-т тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси; ред. кол.: П.А. Витязь [и др.]. – Минск, 2013. – С. 293–298.*

УДК 57.089.23

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕИНВАЗИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ

Рысик А.Н.¹, Плескачевский Ю.М.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Диабет – это хроническое метаболическое заболевание, которое возникает, когда инсулин не вырабатывается должным образом (тип 1) или не используется (тип 2) для контроля уровня сахара в крови в организме. По данным Всемирной организации здравоохранения, от него страдает сотни миллионов человек на Земле. Независимо от типа, регулярный мониторинг уровня глюкозы помогает предотвратить осложнения, связанные с диабетической гипергликемией и гипогликемией [1, 2], в том числе слепоту, почечную недостаточность, сердечные заболевания, врожденные дефекты и даже смерть [3].

В настоящее время наиболее часто используемый метод определения уровня глюкозы требует укола пальца для извлечения капли крови для анализа – раздражающий процесс, который также может привести к инфекции. Поэтому значительные усилия прилагаются к поиску неинвазивных методов измерения глюкозы с использованием жидкостей организма, таких как слюна, пот, интерстициальная жидкость, слезы и моча, в дополнение к крови [4, 5]. Эти методы могут быть оптическими, спектроскопическими, ультразвуковыми, тепловыми, электрическими или электрохимическими [6].

Недавно были предприняты новаторские попытки изготовления конечных устройств с использованием гибридной печатной электроники на гибких подложках. Их преимущества – низкая стоимость площади поверхности, гибкость, сокращение производственных затрат и отличная совместимость с кожей и клетками человека [7–9]. Однако неинвазивные методы обнаружения, которые можно интегрировать с печатной электроникой, остаются проблемой.

Неинвазивный глюкометр. Неинвазивные методы, которые могут быть использованы для определения глюкозы, можно разделить на две категории. В первую входят методы, которые

измеряют эффекты глюкозы на физические свойства крови и ткани. Эта категория основана на предположении, что глюкоза – доминантный, постоянно изменяющийся признак и, как таковой, способствует значительному изменению в соответствующих физических параметрах ткани. Следовательно, измерение таких параметров позволяет косвенно оценить уровень глюкозы крови. Эта группа методов регистрирует изменения свойств тканей в зависимости от концентрации глюкозы и включает в себя методы определения светорассеяния (light scattering) и эмиссии, оптическую когерентную томографию, методы флуоресцентного анализа, регистрацию температурных и электрических изменений тканей.

Вторая категория включает методы, основанные на определении функциональных групп молекулы глюкозы. К ним относятся спектроскопия ближнего (near-infrared) и среднего (mid-infrared) инфракрасного диапазона длин волн, рамановская спектроскопия, инфракрасный фотоакустический анализ, метод оптической ротации и прочие. Эти методы способны обнаружить глюкозу в ткани или крови независимо от других компонентов или психологического состояния.

В последнее время разработано несколько типов НГ, но их общая проблема состоит в том, что они не могут обеспечить достаточную точность измерения в различных условиях [10].

В настоящее время разрабатываются контактные линзы, которые с помощью специального сенсора измеряют уровень глюкозы не в крови, а в слезах. Причем, они могут делать это постоянно (мониторить уровень глюкозы), разработчики также собираются встроить в линзу светодиодный сенсор, который будет предупреждать человека при достижении опасного уровня глюкозы. Линзы смогут передавать данные на смартфон, чтобы врач мог ознакомиться с динамикой выздоровления пациента.