меди из раствора объясняют тот факт, что при осаждении тонких пленок меди в потенциостатическом режиме они более крупнозернисты, протяженность межзеренных границ и параметр шероховатости понижены, а электропроводность повышена (см. рис. 1, табл. 1 и 2) при наличии в электролите золя диоксида олова. Данный факт важен при проектировании условий получения тонких проводящих пленок меди для изделий электронной техники. Обнаруженный факт осаждения более мелкозернистых тонких пленок меди с повышенным вкладом межзеренных границ при гальваностатических условиях электроосаждения в присутствии золя диоксида олова может оказаться полезным для разработки технологий синтеза тонких пленок с повышенной кроющей и защитной способностью.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Черных, А. Г. Технология изготовления интегральных микросхем: лабораторный практикум / А. Г. Черных, Б. С. Колосницын. Минск: БГУИР, 2014. 48 с. : ил.
- Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. V Междунар. науч. конф., Минск, 10-11 окт. 2012 г./ редкол.: В.Б. Оджаев (отв.ред) [и др.].-Минск: Изд. центр БГУ, 2012.
- Насонова Д. И., Воробьева Т. Н., Позняк С. К. Электрохимическое осаждение покрытий Си-SnO₂ на алюминий // Свиридовские чтения : сб. ст. Минск : БГУ, 2013. Вып. 9. С. 121–131.
- 4. Конаков А. О., Воробьева Т. Н., Насонова Д. И. Влияние золя диоксида олова на процесс электрохимического осаждения и свойства медных покрытий на стали, цинке, алюминии и их сплаве // Свиридовские чтения. 2016. Вып № 12 С. 67–72.
- Антонец, И. В., Особенности наноструктуры и удельной проводимости тонких пленок различных металлов / И. В. Антонец, Л. Н. Котов, С. В. Некипелов, Е. А. Голубев // Журнал технической физики. 2004. Т.74 Вып 3. С. 24–27.
- 6. Бурлаков, Р. Б. К вопросу об измерении удельного сопротивления проводящих слоев четырехзондовым методом / Р. Б. Бурлаков, В. С. Ковивчак // Вестн. Ом. ун-та – 2014. - № 2. – С. 59 – 68.
- Зариковская, Н. В. Програмный продукт по численной обработке и визуализации эксперименталльных данных по исследованию зависимости напряжение-деформация / Н. В. Зариковская [и др.] // XI Студенческая международная заочная научно-практическая конференция «Молодежный научный форум: технические и математические науки – Москва, апрель 2014 / Москва :Изд. «МЦНО». — 2014. — № 4 (11).
- Данилов, А. И. Современные представления о процессах образования и роста зародышей новой фазы в потенциостатических условиях / А. И. Данилов, Ю. М. Полукаров // Успехи химии. – 1987. – Вып 7. – С. 1082–1097.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ РЕАКЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

И. В. Красников¹, А. Ю. Сетейкин¹, А. П. Попов²

¹Амурский государственный университет ²Университет Оулу (Финляндия)

В настоящей работе, с помощью компьютерного моделирования методом Монте-Карло, определено распределение плотности поглощенной энергии света в зависимости от глубины на участке кожи, содержащей частицы ZnO и TiO₂ среднего размера 100 нм на глубине 0–3 мкм от поверхности кожи. Для моделирования солнечного спектра были выбраны длины волн 310, 318, 360, 400, 500, 600, 700 и 800 нм как представители УФ, видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов спектра, так как эффекты, возникающие в ткани при воздействии излучения этих длин волн, различны.

Защита кожи человека от чрезмерного воздействия солнечного излучения, вызывающего рак кожи, на сегодняшний день является очень актуальной задачей. Общепринято, что кожа - многослойная структура [1]. Оптические параметры различных слоев кожи, такие как коэффициенты рассеяния и поглощения, показатели преломления и факторы анизотропии рассеяния излучения, различаются. Приповерхностный слой, называемый роговым, служит естественным защитным барьером для глубинных слоев кожи, имеющих в своем составе живые клетки от попадающего на кожу солнечного излучения. Для усиления защиты этих слоев при повышенном облучении УФсветом были разработаны фотозащитные препараты (ФЗП), содержащие химические (поглощающие излучение) вещества [2]. В настоящее время в целях уменьшения пропускания УФ-излучения химические компоненты частично заменяются частицами диоксида титана (TiO₂) или оксида цинка (ZnO) нанометрового размера [3], обладающими ярко выраженными поглощающими и рассеивающими свойствами.

Различные аспекты распространения оптического излучения в сильно рассеивающих случайно-неоднородных средах были широко освещены в многочисленных теоретических исследованиях [1, 4, 6, 7, 8]. Наиболее универсальным и относительно простым в реализации методом является метод Монте-Карло. Метод Монте-Карло не имеет внутренних ограничений, что позволяет решать задачу распространения излучения в среде, учитывая оптические параметры биологических тканей, которые, как предполагается, могут изменяться во времени и пространстве.

Математическое моделирование распространения фотонов в ткани на основе метода Монте-Карло позволяет определить пространственное распределение поглощенной световой энергии в коже, Q [Дж/см³]. Для получения температурного поля ткани потребуется решение дифференциального уравнения нестационарного теплопереноса, где источником тепла будет служить плотность поглощенной энергии в ткани.

В данной работе площадь участка кожи для моделирования выбирается равной 1 см². Мощность падающего излучения составляет 100 мВт. Толщина участка составляет 620 мкм, что в достаточной степени позволяет представить картину взаимодействия УФ-излучения с приповерхностными слоями кожи.

На рис. 1 представлено распределение плотности поглощенной энергии в роговом слое без наночастиц в УФ, видимом и ИК диапазоне длин волн, в том числе суперпозиция вкладов плотности поглощенной энергии всех длин волн.



Рисунок 1. – Распределение плотности поглощенной энергии в слоях кожи в отсутствии наночастиц

Вклады каждой длины волны распределяются следующим образом: УФ-Б (310 нм, 318 нм) 1.50%; УФ-А (360 нм, 400 нм) 6,30%; видимый свет (500 нм, 600 нм, 700 нм) 42,30% и ИК (800 нм) 49,40%.

Картина взаимодействия значительно меняется при внесении в роговой слой наночастиц TiO₂ или ZnO с объемной концентрацией 1% (рис. 2) на глубине до 3 мкм. Коэффициенты поглощения и рассеяния света роговым слоем существенно возрастают, особенно в УФ-области спектра. Поглощение света частицами TiO₂ приводит к многократному увеличению энерговыделения в приповерхностной части рогового слоя с частицами (глубина 0–3 мкм); наблюдается резкий спад плотности поглощенной энергии в области рогового слоя без частиц, а также в эпидермисе и дерме.

УФ-составляющая падающего излучения практически полностью поглощается поверхностным (роговым) слоем, толщиной 20 мкм, в то время как компоненты излучения с большей длиной волны проходят через роговой слой и практически полностью поглощаются лишь в толстом (100 мкм) слое эпидермиса, частично достигая дермы. Благодаря относительно большому коэффициенту рассеяния рогового слоя, часть излучения рассеивается в слое в обратном направлении [5]. Одной из основных функций рогового слоя является ослабление УФ-излучения, экранировка внутренних органов от его пагубного воздействия. Однако, незначительная часть УФ-излучения все же достигает эпидермиса и дермы.

На рис. 2 представлено распределение температуры по глубине кожи без наночастиц и с использованием 1% и 5% примеси диоксида титана в роговом слое. Учитывая постоянный кровоток во внутренних слоях кожи, мы моделировали величину конвекции на поверхности кожи 5, 10 и 15 Вт/м². Процесс теплопереноса устанавливается в течении первых 20 секунд воздействия (результаты не представлены).



Рисунок 2. – Температура кожи при 1% (а) и 5% (б) содержании наночастиц ТіО2.

Показано, что значительная часть падающего солнечного излучения поглощается в роговом слое, содержащем наночастицы. Учитывая конвекцию на поверхности и перфузию крови, продемонстрировано, что температура кожи при наличии солнцезащитных наночастиц в роговом слое снижается. Из расчетов видно, что наночастицы диоксида титана и оксида цинка препятствуют проникновению значительной части УФ-излучения вглубь ткани, предохраняя нижележащие слои и внутренние органы от пагубного воздействия УФ-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. V.V. Tuchin Handbook of Optical Biomedical Diagnostics / V.V. Tuchin –Bellingham: SPIE Press, 2002.
- R.F. Edlich, K.L. Winter, H.W. Lim, M.J. Cox, D.G. Becker, J.H. Horovitz, L.S. Nichter, L.D. Britt, and W.B. Long Photoprotection by sunscreens with topical antioxidants systemic antioxidants to reduce sun exposure //J. Long-Term Effects Med. Implants, 2004, r.14, c.317-340.
- 3. B. Innes, T. Tsuzuki, H. Dawkins, J. Dunlop, G. Trotter, M.R. Nearn, and P.G. McCormick Nanotechnology and the cosmetic chemist //Cosmetics, Aerosols and Toiletries in Australia, 2002, T.15, c.10-12, c.21-24.
- I.Meglinski, A.V. Doronin Monte Carlo modeling for the needs of biophotonics and biomedical optics / Advanced Biophotonics: tissue optical sectioning, Edited by V.V. Tuchin, R.K. Wang, Taylor & Francis, 2012.
- A.P. Popov, J. Lademann, A.V. Priezzhev, and R. Myllylä Alteration of skin light-scattering and absorption properties by application of sunscreen nanoparticles: A Monte Carlo study //J. of Quant. Spectr. and Radiat. Transfer, 2011, r.112(11), c.1891-1897
- I.Krasnikov, A. Seteikin, G. J. Lee, P. Attri, E. H. Choi, Y.W. Kwon Optical and structural properties of nanobiomaterials // J. of Nanoscience and Nanotechnology. –2014. – V.14 (1). –P. 221-49.
- I.V. Krasnikov, A.P. Popov, A.Yu. Seteikin, R. Myllylä Influence of titanium dioxide nanoparticles on skin surface temperature at sunlight irradiation // Biomed. Opt. Express. –2011. –V.2 (12). – P.3278-3283.
- S. L. Jacques and L.-H. Wang Monte Carlo modeling of light transport in tissues / Optical Thermal Response of Laser Irradiated Tissue, edited by A. J. Welch and M. J. C. van Gemert, Plenum Press, New York, 1995.

ЛАВИННЫЕ СВЕТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ВНУТРИЧИПОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ

С. К. Лазарук, А. А. Лешок, В. В. Дудич, В. Е. Борисенко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, serg@nano.bsuir.edu.by

Разработаны конструкция и технология изготовления интегрированных оптических и электрических межсоединений на кремнии. В качестве светоизлучающих диодов используются структуры на основе наноразмерного кремния, встроенного в алюмооксидную матрицу. Изготовлена оптопара с коэффициентом преобразования по току 1 %.

В настоящее время одной из актуальных задач развития интегральной электроники является повышение быстродействия. Замена электронных межсоединений на оптические позволит повысить быстродействие интегральных микросхем за счет устранения резистивно-емкостных задержек металлической разводки. Следовательно, возникает необходимость интеграции электронных и оптических межсоединений внутри кремниевого чипа. Нами разработана и изготовлена экспериментальная структура интегрированных электронных и оптических межсоединений на едином кремниевом кристалле, а также исследованы ее характеристики. Полученные результаты представлены в настоящей работе.