

# **РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИ СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ**

***H.N. Храпко, Т.Н. Патрушева***

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, khrapko\_nn@voenmeh.ru, patrusheva\_tn@voenmeh.ru*

В работе описан метод получения покрытий, непрозрачных в УФ-диапазоне излучения и одновременно прозрачных в видимом диапазоне. Свойства покрытий исследованы методом УФ-видимой спектроскопии, произведен расчет ширины запрещенной зоны методом Тауца.

Полученные покрытия могут быть использованы для средств индивидуальной (щитки, очки и маски) и коллективной защиты (экраны).

**Ключевые слова:** безопасность при сварочных работах, защита от УФ-излучения, оксидные покрытия, оптические свойства покрытий, ширина запрещенной зоны, спектроскопия.

Электрогазоварочные работы лидируют по распространенности в промышленности среди производственных процессов, они проводятся при производстве металлоконструкций, монтаже и строительстве, производстве транспортных средств, ремонтных и восстановительных работах. Наиболее опасным фактором при сварочных работах является повышенный уровень ультрафиолетового (УФ) излучения от сварочной дуги. Ухудшают условия труда низкий уровень механизации производства, износ оборудования, неправильное обращение со средствами индивидуальной защиты (СИЗ), отсутствие средств коллективной защиты. Значительное число работников, подвергающихся воздействию УФ-излучения, делают проблему безопасности сварочных работ заслуживающей серьезного внимания [1-3].

Результаты опроса работающих в условиях влияния УФ-излучения показывают, что фотоофтальмия, покраснение открытых участков кожи и жалобы общего характера (утомление, головная боль) возникают не только у сварщиков, но и у вспомогательного персонала, занятого на смежных участках [1]. При этом персонал на смежных рабочих местах не всегда обеспечивается необходимыми СИЗ. Поэтому особенно актуальна разработка средств не только индивидуальной, но коллективной и защиты.

К существующим средствам коллективной защиты относятся сварочные кабины и посты – стационарные или передвижные ограждения, выделяющие зону проведения сварочных работ. Стационарные кабины изготавливаются из несгораемых материалов (листовой металл, фанера с пропиткой). Имеют высоту не менее 1,8-2 метров, часто оборудуются шторой из брезента или огнестойкого тента для входа. Передвижные ширмы и экраны представляют из себя мобильные конструкции на раме, обтянутые огнестойким материалом (брезент, палаточная ткань с защитным покрытием) или сделанные из листового металла [4]. Используются для временного ограждения места работ в общем цеху. Ключевая особенность экрана заключается в том, что они непрозрачны и темного цвета. Такой экран препятствует визуальному доступу к производственному процессу, что может быть необходимо в некоторых случаях.

Для повышения комфорта и защиты работающих от воздействия электромагнитного излучения УФ-диапазона необходима разработка специальных тонкопленочных материалов, обладающих селективным поглощением и пропусканием в заданных областях спектра. Для решения данной задачи экстракционно-пиролитическим методом получены тонкопленочные (толщиной 60, 150, 300 и 450 нм) покрытия на основе оксидов редкоземельных элементов ( $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $ZnO$ ,  $NiO$ ,  $CuO$  ITO), отжеченные при температурах 500 и 700°C.

Для получения покрытий заданных составов из недорогих исходных веществ был использован экстракционно-пиролитический метод, приведенный в работе [5].

Спектральные характеристики в УФ и видимой областях изучены методом спектроскопии с использованием спектрофотометра СФ-56, ЛОМО, Санкт-Петербург. Полученные результаты показывают, что в УФ-области

(190-380 нм) наименьшей прозрачностью обладают покрытия составов CuO (150 нм, 700°C) и NiO (60 нм, 700°C), при этом прозрачность в видимом диапазоне для CuO также снижается (рис. 1).

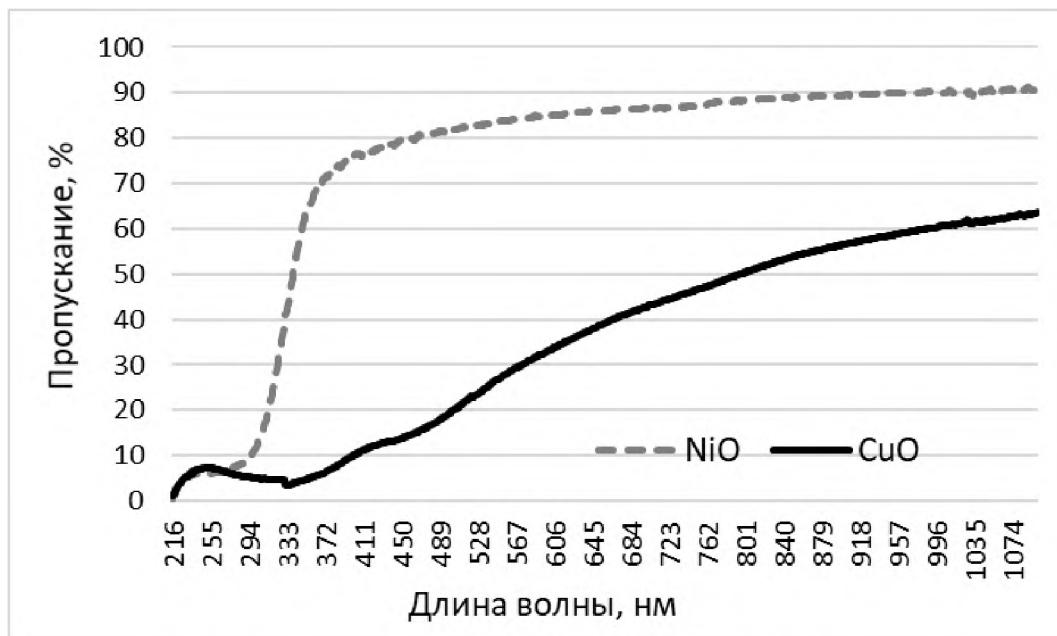


Рис. 1. Спектры пропускания стекол с покрытиями NiO и CuO в УФ-видимой областях

Ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ) — это фундаментальная характеристика материала, которая определяет его оптические свойства. УФ и видимое излучение представляет из себя поток фотонов. Энергия фотонов прямо связана с длиной волны света по формуле  $E = hc/\lambda$ , где  $E$  — энергия фотона,  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света,  $\lambda$  — длина волны. Зная ширину запрещенной зоны материала, можно определить свет какой длины волны поглотится и не пройдет через материал. Материал будет поглощать свет в том случае, если энергия падающего фотона больше или равна ширине запрещенной зоны материала.

Расчет ширины запрещенной зоны полученных покрытий производится по методу Тауца. На основе данных спектроскопии строится график Тауца, где по оси абсцисс откладывается энергия  $hv$  эВ, по оси ординат откладывается расчетные значения  $\left(\frac{100/T+2\lg(1-R)}{\lambda}\right)^2$ , где  $T$  — пропускание, %,  $R$  — коэффициент отражения,  $\lambda$  — длина волны, нм. По наклону линейного участка этого графика определяется ширина запрещенной зоны материала. Результаты расчета ширины запрещенной зоны наиболее интересных материалов — CuO и NiO приведены на рис. 2

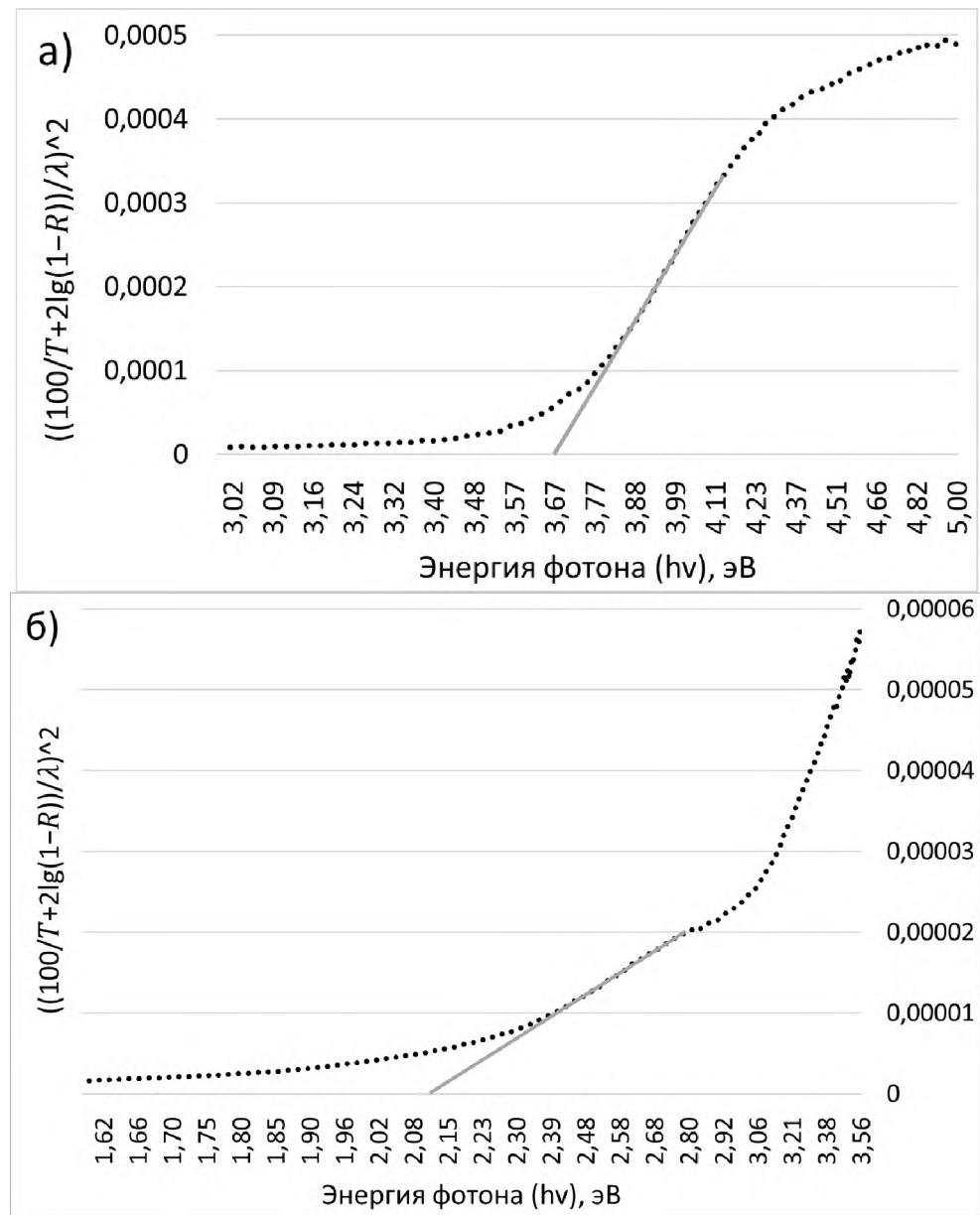


Рис. 2. Графики Тауца для оксидных пленок составов: а) NiO, б) CuO.

Для оксида никеля ширина запрещённой зоны, согласно расчету, составила равна 3,67 эВ, что согласуется с теоретическими значениями  $\sim 3,7$ -4,0 эВ [6]. Ширина запрещенной зоны оксида меди = 2,1 эВ, что также согласуется с теоретическими данными для оксида меди (I) 2,1-2,2 эВ [7].

Материал с шириной запрещенной зоны  $Eg = 3,67$  эВ будет эффективно блокировать УФ- излучение, в основном диапазон UV-A и часть UV-B. Материал с шириной запрещенной зоны  $Eg = 2,1$  эВ будет блокировать видимый фиолетовый, синий и частично зеленый свет, а также весь ультрафиолетовый диапазон. Широкая запрещенная зона ( $Eg > 3,1$  эВ) признак того, что материал является диэлектриком или широкозонным полупроводником и будет прозрачен в видимом диапазоне, что подтверждается прозрачностью оксида никеля в видимом диапазоне и неполной прозрачностью оксида меди.

Полученные результаты демонстрируют возможность управления оптическими характеристиками стекол за счет варьирования состава нанопокрытий, что перспективно для решения задач защиты от УФ-излучения.

Целенаправленная модификация микроструктуры покрытий (изменение температуры отжига и толщины покрытия позволяет варьировать его запрещенную зону в узком диапазоне. Для достижения нужного значения  $E_g$  и получения наиболее эффективных средств защиты от УФ-излучения также возможно лигирование покрытий другими элементами.

#### Библиографический список

1. Итпаева-Людчик С. Л.; Клебанов Р. Д. Анализ материалов анкетного опроса работающих в условиях профессионального ультрафиолетового облучения // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», БГМУ, 2016. С. 277-281.
2. Лазаренков А.М. Исследование условий труда работающих в литейных цехах при выполнении сварочных работ // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 163-165.
3. Есимова А.Т., Мазурик А.В., Игнатович И.А. Улучшение условий труда на рабочем месте электросварщика ручной сварки на примере строительной организации // Техносферная безопасность: Материалы Шестой Всероссийской молодежной научно-технической конференции с международным участием, Омск, 26 апреля 2019 года / Ответственный редактор Н. Н. Новиков. – Омск: Омский государственный технический университет, 2019. С. 58-61.
4. Богуш В.А. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / под ред. Л. М. Лынькова; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: Бестпринт, 2003. – 406 с.
5. Khrapko N.N., Patrusheva T.N., Myakin S.V. Oxide films produced by the extraction-pyrolytic method with different transmission and absorption characteristics in the uv range // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2024. Т. 58. № 1. С. 48-53.
6. Wu Z.Y., Liu Ch., Guo L., Hu R., Abbas M., Hu T., Xu H.B. Structural Characterization of Nickel Oxide Nanowires by X-ray Absorption Near-Edge Structure Spectroscopy // Journal of Physical Chemistry B. 2005. № 109(7). С. 2512-2515
7. Введенский А.В., Грушевская С.Н., Ганжа С.В. Электронные характеристики оксидов Cu(I) И Cu(II), анодно сформированных на монокристаллах меди // Конденсированные среды и межфазные границы. 2016. Т.18, № 3. С. 312-325.