

**В. А. СВЕТЛИЧНЫЙ, Ю. Е. ХОРОШАЙЛО, О. В. МУЛЯВКА, А. В. СОВА**

## ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТОНКИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК

У результаті вивчення властивостей і структури тонких плівок, показано що властивості і структура плівок значно відрізняється від тих же параметрів об'ємного матеріалу. Фізичні процеси, що відбуваються під час утворення плівок обумовлюють індивідуальну специфіку властивостей і структури. Тому, одним з основних показників якості металевих тонких плівок є відсутність дефектів. У роботі розглянуті питання теорії появи дефектів тонких електропровідних плівок. Виконано аналіз впливу головних електричних параметрів плівок на наявність дефектів структури плівок. Показані інші можливі види дефектів плівок і визначені способи їх виявлення

**Ключові слова:** тонка електропровідна плівка, товщина і форма плівки, пористість структур, поверхнева щільність острівців

В результате изучения свойств и структуры тонких пленок, показано что свойства и структура тонких пленок значительно отличается от тех же параметров объемного материала. Физические процессы происходящие во время образования пленок обуславливают индивидуальную специфику свойств и структуры. Поэтому, одним из основных показателей качества металлических тонких пленок является отсутствие дефектов. В работе рассмотрены вопросы теории появления дефектов тонких электропроводящих пленок. Выполнен анализ влияния главных электрических параметров пленок на наличие дефектов структуры пленок. Показаны иные возможные виды дефектов пленок и определены способы их выявления

**Ключевые слова:** тонкая электропроводящая пленка, толщина и форма пленки, пористость структур, поверхностная плотность островков

As a result of studying the properties and structure of thin films, it is shown that the properties and structure of films differ significantly from the properties and structure of bulk material of the same composition. The physical processes that occur during the formation of films cause the individual specificity of the properties and structure. Therefore, one of the main indicators of the quality of metallic thin films is the absence of defects. The paper deals with the theory of the appearance of defects in thin electrically conductive films. The analysis of the effect of the main electrical parameters of the films on the presence of defects in the structure of the films is performed. Other possible types of defects of films are shown and methods for their detection

**Keywords:** thin electroconductive film, film thickness and shape, porosity of structures, surface density of islands

**Постановка проблеми.** Качество изделий на основе тонкопленочных структур зависит от обеспечения заданных параметров пленок, что связано с необходимостью использования эффективных методов контроля параметров таких структур в процессе производства. Основные требования, предъявляемые к этим методам и приборам: автоматичность, оперативность, неразрушаемость, необходимая точность, надежность контроля.

Всем этим требованиям отвечают электромагнитные и радиоволновые методы неразрушающего контроля. Однако анализ отечественного и мирового рынка приборов неразрушающего контроля показывает отсутствие универсальных приборов позволяющих эффективно контролировать толщину, электропроводность и структуру тонких электропроводящих пленок.

Отдельные разработки и приборы [1 – 5], выполненные на уровне макетов, не отвечают перечисленным выше требованиям. Таким образом существует острая потребность в приборах для измерения параметров тонких электропроводящих пленок (толщиной от 1 мкм и менее) на диэлектрических и металлических основаниях.

Решение данной проблемы должно основываться на комплексном подходе к развитию теории электромагнитных и радиоволновых методов неразрушающего контроля тонкопленочных проводящих структур. Учет микроструктурных особенностей тонких пленок, на основе обобщения их свойств в электромагнитных полях от инфракрасного до высокочастотного диапазонов, позволит реализовать соответствующую разработку теории

проектирования радиоволновых, вихретоковых и емкостных средств неразрушающего контроля. Что в конечном итоге позволит осуществить создание и освоение промышленного выпуска приборов.

Основная часть. Свойства и структура тонких пленок значительно отличается от свойств и структуры объемного материала того же состава. Физические процессы происходящие во время образования пленок обуславливают индивидуальную специфику свойств и структуры. Поэтому, одним из основных показателей качества металлических тонких пленок является отсутствие дефектов. Тонкими принято считать пленки, толщина которых начинается от 1 мкм и менее. [5]. У таких пленок в зависимости от толщины слоя меняется: удельное электрическое сопротивление, температура плавления, степень переохлаждения, по сравнению с массивными объектами, что определяет значительную плотность дефектов структуры. Последние прямо пропорционально зависят от физической толщины пленок. Зачастую пленка в действительности не является сплошной, а состоит из большого количества малых островков, расположенных близко друг к другу. Совокупность островков в практическом применении выглядит как сплошная пленка, однако, система проявляет иные свойства и дефекты структуры [5].

В соответствии с теорией зародышеобразования и наблюдений с помощью электронных микроскопов, процесс рождения и роста пленки включают в себя следующие этапы: [6-8]: появление адсорбированных атомов; образование субкритических кластеров разного размера; образование кластеров критического

размера (этап зародышеобразования); рост этих кластеров до сверхкритических размеров с результирующим обеднением атомами зон захвата вокруг них; образование критических зародышей на площадях не обедненных атомами; зародыши соприкасаются друг с другом и срastaются, образуются новые островки, занимающие площадь меньше, чем сумма площадей объединившихся зародышей, это приводит к увеличению свободной поверхности подложки; атомы адсорбируются на этих освобожденных участках и в результате наступает процесс «вторичного» образования зародышей; большие островки срastaются, оставляя каналы или полости в пленке; каналы и полости заполняются в результате вторичного зародышеобразования и в результате образуется сплошная пленка [9].

В зависимости от стадии завершения процесса образования пленки могут быть мелкозернистыми островковыми, крупнозернистыми островковыми, сеточными и пористыми, сплошными.

В общем случае свойства пленки определяются как внешней так и внутренней структурой (кристаллическое строение островков, размеры кристаллитов, тип кристаллической решетки, наличие дефектов, примесей в островках и т. д.). Анализ известной литературы показывает, что в настоящее время нет однозначного инженерного описания электрофизических свойств и структуры тонких пленок. Работы в этой области отражают экспериментальные исследования свойств и структуры пленок и попытки их интерпретации с помощью различных теорий.

Для получения тонких плёнок используется множество разнообразных методов: химическое осаждение, пиролитическое разложение, электролиз, катодное распыление, термовакуумное распыление. Для получения высокочистых плёнок наиболее эффективным является последний метод. Подложка пленки и испаритель помещаются в вакуумную систему, в которой осуществляется напыление [6, 9].

Главным электрическим параметром тонкой пленки является электрическое сопротивление, и оно непосредственно зависит от толщины пленки [9], (рис. 1).

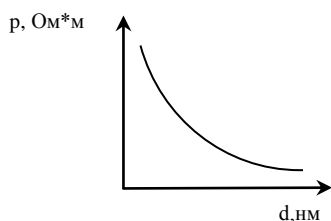


Рис. 1 – Электрическое сопротивление металлических пленок

При этом следует учитывать, что характер размерных зависимостей определяется условиями и методикой измерения, например температурой материала или напряженностью электрического поля (при определении электрофизических свойств).

Главными геометрическими параметрами тонкой

пленки являются толщина и форма пленки. В общем случае, тонкую пленку можно рассматривать как среду, ограниченную двумя поверхностями  $Z_1$  и  $Z_2$ . Однако, участки поверхностей  $Z_1$  и  $Z_2$  в общем случае могут и совпадать (на этих участках покрытие отсутствует).

Выполненный анализ работ [6-10] показывает, что для практического контроля структуры тонких пленок необходимо и достаточно контролировать следующие основные параметры: геометрическая и эффективная толщина пленки; пористость структуры (поверхностная плотность островков), адгезия пленки к подложке.

Под понятием геометрической толщины пленки понимают [9]:

$$d_{\text{пленки}} = \frac{1}{S_0} \int (Z_1 - Z_2) dS \quad (1)$$

где  $S_0$  – площадь поверхности подложки,  $Z_1$  – поверхность пленки,  $Z_2$  – поверхность материала подложки,

$dS$  – дифференциальный элемент этой поверхности.

Геометрическую толщину пленки измерить достаточно сложно. На практике, чаще используется понятие эффективной толщины. Эффективная толщина – это толщина однородного слоя вещества, обладающего теми же свойствами, что и реальная тонкая пленка.

Для определения эффективной толщины пленки известны следующие методы: микровзвешивание, электрический способ, оптические методы и т.д.

Метод микровзвешивания состоит в определении приращения массы подложки после нанесения на нее пленки. При измерении толщины пленки микровзвешиванием допускают, что плотность нанесенного вещества равна плотности массивного вещества. Метод достаточно прост, но требует, чтобы форма и структура материала подложки была однородной, а ее поверхность очищена от загрязнений. Кроме того, на точность измерений влияет удельная масса нанесенного материала, которая может изменяться в зависимости от условий технологических режимов (остаточного давления, загрязнений молекулами газа и др.) [9].

При определении толщины электрическим способом с помощью измерения сопротивления нанесенной пленки допускают, что удельное сопротивление пленки равно удельному сопротивлению массивного металла. В этом случае под эффективной толщиной пленки понимают ту толщину, которую имел бы слой, если бы удельное сопротивление его было равно удельному сопротивлению массивного металла.

Оптические методы определения толщины, основаны на исследовании таких параметров, как коэффициенты отражения и прозрачности, фазовые сдвиги вносимые присутствием пленки, угловые зависимости этих сдвигов и т. п. Исходя из

выбранного оптического параметра, определяют эффективную толщину пленки. В общем случае, эффективная толщина и оптическая толщина совпадают, когда пленка сплошная и однородная. В противном случае, при измерении толщины одной и той же пленки получаются разные значения [8-10].

Однако, перечисленные методы являются косвенными и приближенными, так как не позволяют определить толщину пленки с приемлемой точностью, если не используются громоздкие и трудоёмкие вычисления и графические построения.

Допущения о соответствии параметров пленки (плотности, удельного сопротивления, оптических свойств) параметрам массивного металла справедливо только для толстых непрозрачных слоев, а для более тонких пленок эти параметры являются функцией толщины и зависят от условий образования пленки. Таким образом, значение полученное любым из приведенных выше способов, будет отличаться от значения «истинной» толщины. Кроме того, значения эффективных толщин тонкой пленки, полученные различными методами, также будут отличаться. При этом не один из них не способен выявлять и контролировать однородность структуры пленки.

Под понятием пористости структуры (поверхностной плотности островков) принято понимать среднюю плотность  $n_0 = \frac{N_{\text{п}}}{S_{\text{п}}}$ , (2)

где  $N_{\text{п}}$  – число островков,  $S_{\text{п}}$  – площадь островков.

Адгезия пленки к подложке также является очень важной характеристикой определяющей долговечность и надежность покрытия. Прочность или величину адгезии, в общем виде можно охарактеризовать работой, необходимой для отделения пленки покрытия. Простой и эффективный метод определения величины адгезии заключается в наложении на поверхность пленки специальной испытательной липкой ленты для последующего исследования процесса отрыва. При слабой адгезии лента отрывается от подложки вместе с пленкой, при сильной – пленка остается полностью на подложке. Для количественной оценки адгезии применяют метод липкой ленты и метод царапания иглой под определенной нагрузкой, методы имеют ряд методических сложностей.

Величина адгезии очевидно определяется природой связи частиц пленки и подложки. Физическая адсорбция определяет слабую адгезию, а хемосорбция – сильную. Активные по отношению к кислороду металлы образуют химические связи с подложками, например со стеклом, что приводит к повышению адгезии. Для повышения адгезии нередко специально наносят подслои окисла, современные технологии позволяют также осуществлять плавный

переход состава пленки от окисла до чистого металла, что может обеспечить максимальную адгезию.

Таким образом влияние вышеперечисленных параметров на этапе рождения и роста тонких пленок может вызывать следующие разновидности дефектов [11]:

- Точечные дефекты – их размеры соизмеримы с периодом решетки вещества. К ним относятся межузловые атомы, примеси замещения/внедрения, вакансии, кластеры и их скопления.
- Линейные дефекты – цепочки точечных дефектов, дислокации (полное или частичное отсутствие цепочек атомов), двойниковые дислокации, зерноограниченные дислокации, межфазные дислокации.
- Поверхностные дефекты – это дефекты границы двойников и зерен, межфазные границы и поверхности пленки.
- Объемные дефекты – поры, трещины, включения других фаз.

Указанные дефекты возможно обнаружить визуально с помощью специализированных электронных микроскопов, к которым относятся: просвечивающий электронный микроскоп, растровый электронный микроскоп, атомный силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп.

С помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения выявляют точечные, линейные дефекты, поры и трещины. Применяя растровый электронный микроскоп (рис. 2), атомный силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп, выявляют дислокации, поры, трещины, включения других фаз и т.д.



Рис. 2 – Растровый электронный микроскоп РЭМ-106И

Для получения интегральной оценки наличия дефектов в пленке используют рентгеновский дифракционный анализ. Однако, в условиях производства при формировании из поверхностей тонких пленок законченных узлов, деталей и электронных схем, применять для контроля поверхностей электронные микроскопы не

рационально из-за их сложности, трудоемкости и сложности автоматизации технологического процесса выявления дефектов.

**Выводы.** Для качественной оценки таких дефектов применяются методы разрушающего контроля и неразрушающего контроля. Основными достоинствами всех разновидностей первого метода является то, что они позволяют непосредственно и при этом, количественно оценить контролируемые параметры объекта, например размеры и местоположение нарушения сплошности. [1, 5, 9-12]. При этом действия вызывают повреждение либо разрушение тонких пленок, что не позволяет гарантировать качество всего количества контролируемой продукции, так как осуществляется выборочно и связь результатов контроля с качеством продукции статистическая. Кроме того, такие методы требуют предварительной, как правило ручной подготовки изделия и не подразумевают автоматизации. Поэтому все виды разрушающего контроля неэффективны, малопроизводительны и в условиях промышленного производства экономически нецелесообразны.

Вторая группа методов контроля обеспечивает – неразрушающий контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов, узлов, не требует выведения объекта из работы либо его демонтажа [1, 5]. Производительность методов неразрушающего контроля значительно более высокая и они всегда автоматизированы.

К главным *достоинствам* видов неразрушающего контроля относятся:

- осуществление контроля всей партии электропроводящих тонких пленок;
- осуществление контроля в процессе их изготовления и эксплуатации;
- возможность многопараметрового контроля;
- большая скорость выполнения контроля, дистанционность, возможность осуществления контроля в любых условиях и т.д.

Перечисленные преимущества определяют широчайшее распространение видов неразрушающего контроля в технике.

К главным *недостаткам* НК относятся:

- отсутствие во многих случаях, прямой связи результатов контроля с параметрами тонких пленок (т.к. выполняются косвенные измерения);
- не всегда возможно определить срок службы контролируемых изделий из тонких пленок (из-за отсутствия контроля разрушающих факторов);
- часто требуется настройка, калибровка на специальных (контрольных) образцах и исследование рабочих условий для интерпретации результатов контроля.

В зависимости от используемых физических явлений и природы зондирующих полей, согласно действующему стандарту [13] неразрушающий

контроль принято подразделять на 9 обособленных видов: визуально-оптический, проникающими веществами, магнитный, ультразвуковой, электрический, радиоволновой, тепловой, радиационный и вихретоковый. Однако, наличие неоднородности структуры пленок не позволит: упростить граничные условия при решении задач электродинамики, избавиться от необходимости расчета полей внутри пленок, получить приемлемые аналитические выражения для вносимых параметров пленок, учесть отстройку от мешающих факторов. В результате, реально пригодными для автоматизации контроля электропроводящих пленок можно признать методы неразрушающего контроля базирующиеся на использовании электромагнитных полей от инфракрасного до СВЧ – диапазонов. Данным требованиям соответствуют емкостные, радиоволновые, вихретоковые и частично оптические методы неразрушающего контроля.

Наибольшую результативность по выявлению дефектов структуры пленок обеспечивают вихретоковые резонансные методы, особенно для материалов с малым электрическим сопротивлением. Для контроля измерения параметров тонкопленочных структур со значительно большим электрическим сопротивлением вихретоковые методы непригодны из-за необходимости использования частот свыше 100 МГц, что технически сложно реализовать [11]. Для контроля параметров таких структур целесообразно использовать радиоволновые и емкостные ВЧ-методы контроля. Таким образом, можно констатировать, что комбинация вихретоковых, радиоволновых и емкостных методов позволяет создавать как универсальные так и узко специализированные приборы для измерения толщины и контроля дефектов тонких электропроводящих пленок.

#### Список литературы

1. Учанин В. Н. Автогенераторные вихретоковые дефектоскопы: основные принципы, классификация, сравнительный анализ (обзор) / В. Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 18 – 23.
2. Федосенко Ю. К. Становление, современное состояние и перспективы развития вихретокового контроля / Ю. К. Федосенко // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 5. – С. 71 – 75.
3. Учанин В. Н. Развитие вихретоковых методов контроля: задачи, решения, перспективы / В. Н. Учанин // Матеріали V Національної науково-технічної конференції виставки «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (НКТД–2006). – К., 2006. – С. 46 – 54.
4. Ю. К. Федосенко, В. Ф. Мужижкий // В мире неразрушающего контроля. – 2007. – № 2. – С. 4 – 9.
5. Светличный В. А. Некоторые вопросы построения вихретоковой аппаратуры неразрушающего контроля / В. А. Светличный // Збірник тез доповідей 3-ої науково-практичної конференції «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», м. Івано-Франківськ, 29-30 листопада 2011 р. ; ФЕ і ВТ, ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 134–136.
6. Куров Г. А. Кинетика образования сквозных макроскопических пор в тонких пленках и пленочных структурах / Г. А. Куров,

- Э.А. Жильков, В.М. Дубодель // Физика твёрдого тела. 1974, т. 16, №10, с. 2873-2878.
7. Куров Г.А. Макроскопические дефекты в тонких металлических пленках / Г.А. Куров, Э.А. Жильков, В.М. Дубодель // Доклады академии наук СССР. 1974, т. 219, №3, с. 582-585.
  8. Дукаров С.В. Влияние температуры на рост пор в поликристаллических плёнках легкоплавких металлов / С.В. Дукаров, С.И. Петрушенко, В.Н. Сухов, И.Г. Чурилов // Вопросы атомной науки и техники. – Харьков : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2014. – № 1(89), – С. 110–114.
  9. Светличный В. А. Показатели качества металлических тонких пленок / В. А. Светличный // Наука сегодня: теория, методология, практика/ Naukadziś: teoria, metodologia, praktyka.; сборник научных докладов междунар. науч.-техн. конф. «Naukadziś: teoria, metodologia, praktyka», 28.09.2013 – 30.09.2013. – Wrocław : Wydawca: Sp. z o.o. Diamondtradingtour, 2013. – С. 60–61.
  10. Светличный В. А. Некоторые особенности применения вихретокового метода неразрушающего контроля / В. А. Светличный, Ю. Е. Хорошайло, В. М. Райков // Экономика, наука, производство: сборник научных трудов. – М.: Издательство ФГБОУ ВПО «Московский государственный открытый университет имени В.С. Черномырдина», 2011. – № 24. – С. 137–141
  11. Світличний В.А. Резонансна вихрострумова дефектоскопія тонких неферромагнітних плівок : дисертація на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.11.13 / Світличний Віталій Анатолійович; М-во освіти і науки України, НТУ «ХПІ»; наук. кер. Хорошайло Ю.Е. – Харків, 2015. – 196 с.
  12. Хорошайло Ю.Е. Вихретоковый контроль тонких электропроводящих пленок и неэлектропроводящих покрытий / Ю. Е. Хорошайло, Г. М. Сучков, В. А. Светличный, В. Н. Ерошенко // Монография - Харків: «Шедра садиба плюс», 2014 – 228 с.
  13. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення: ДСТУ 2865–94; чинний від 1996–01–01. – К. : Держстандарт України, 1995. – 52 с.
- equipment", Ivano-Frankivsk, November 29-30, 2011; m. Ivano-Frankivsk, 30 листопада 2011 р. ; ФЕ і IBТ, ІФНТУНГ. - Ivano-Frankivsk, 2011. -pp. 134-136.
6. Kurov G. A. Kinetics of the formation of through macroscopic pores in thin films and film structures / G. A. Kurov, E. A. Zhilkov, V. M. Dubodel // Physics of a solid. 1974, Vol. 16, No. 10, pp. 2873-2878.
  7. Kurov G. A. Macroscopic defects in thin metal films., E. A. Kurov, V. M. Zhilkov, V. M. Dubodel // Reports of the Academy of Sciences of the USSR. 1974, Vol. 219, No. 3, pp. 582-585.
  8. Dukarov S. V. Influence of temperature on the growth of pores in polycrystalline films of low-melting metals / S. V. Dukarov, S. I. Petrusenko, V. N. Sukhov, I. G. Churilov // Questions of Atomic Science and Technology. - Kharkov: National Science Center "Kharkiv Physical-Technical Institute", 2014. - No. 1 (89), - pp. 110 - 114.
  9. Svetlichny V. A. Quality indices of metallic thin films / V. A. Svetlichny // Science Today: Theory, Methodology, Practice / Naukadziś: teoria, metodologia, praktyka.; a collection of scientific papers of the international. Scientific-techn. Conf. "Naukadziś: teoria, metodologia, praktyka", September 28, 2013 - September 30, 2013. - Wrocław: Wydawca: Sp. z o.o. Diamondtradingtour, 2013. - pp. 60-61.
  10. Svetlichny V. A.. Some features of the eddy current method of nondestructive testing / V. A. Svetlichnyi, Yu. E. Khoroshaylo, V. M. Raikov // Economics, science, production: a collection of scientific papers. - Moscow: Publishing house FBOU HPE "Moscow State Open University named after B. C. Chernomyrdin", 2011. - No. 24. - pp. 137-141
  11. Svitlichny V. A. Resonant eddy current flaw detection of thin non-ferromagnetic films: dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences: 05.11.13 / Svetlichnyi Vitaliy Anatolevich; Ministry of Education and Science of Ukraine, NTU "KhPI"; Supervisor of studies Khoroshaylo Yu.E. - Kharkov, 2015. - 196 p.
  12. Khoroshaylo Yu. E. Eddy current control of thin electrically conductive films and non-conductive coatings / Yu. E. Khoroshaylo, G. M. Suchkov, V. A. Svetlichny, V. N. Eroschenkov // Monograph - Kharkiv: "Shedra Sadiba Plus", 2014 - 228 p.
  13. Non-destructive testing. Terms and definitions: DSTU 2865-94; Valid from 1996-01-01. - Moscow: State Standard of Ukraine, 1995. – 52 p.

## References (transliterated)

Поступила (received) 11.05.2017

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Особенности выявления дефектов тонких электропроводящих пленок / В. А. Светличный, Ю. Е. Хорошайло, О. В. Мулявка, А. В. Сова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 72–77. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-4525.**

**Особенности выявления дефектов тонких электропроводящих пленок / В. А. Светличный, Ю. Е. Хорошайло, О. В. Мулявка, А. В. Сова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 72–77. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-4525.**

**Features of the detection of defects in thin electrically conductive films / V. A. Svetlichnyi,**

**Yu. E. Khoroshaylo, O.V. Mulyavka, A.B. Sova** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Elektroenergetika i preobrazovatel'naya tehnika. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 4 (1226). – P. 72–77.– Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-4525.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Світличний Віталій Анатолійович** – кандидат технічних наук, викладач кафедри, Харківський національний університет внутрішніх справ, м. Харків; тел.: (057) 739-88-22; e-mail: vit.svet@ukr.net.

**Светличный Виталий Анатольевич** - кандидат технических наук, преподаватель кафедры, Харьковский национальный университет внутренних дел, г. Харьков. тел. : (057) 739 88 22; e mail: vit.svet@ukr.net.

**Svetlichny Vitaliy Anatolyevich** - Candidate of Engineering Science, Lecturer of the department, Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkov. Tel: (057) 739 88 22; E mail: vit.svet@ukr.net.

**Хорошайло Юрій Євгенович**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри, Харківський національний університет радіоелектроніки, г. Харків, тел. : (057)–702–14–22.

**Хорошайло Юрий Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, м. Харьков, тел.: (057) 702-14-22.

**Khoroshaylo Yury Evgenievich**, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, tel. : (057)–702–14–22.

**Мулявка Олег Владиславович**, студент, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057)–702–14–22.

**Мулявка Олег Владиславович**, студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харків, тел. : (057)–702–14–22.

**Mulyavka Oleg Vladislavovich**, student, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, tel. : (057)–702–14–22.

**Сова Анна Василівна**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри вищої математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, г. Харків, тел. : (057)–702–13–72.

**Сова Анна Васильевна**, кандидат технических наук, профессор кафедры высшей математики, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, м. Харьков, тел.: (057) 702-13-72.

**Sova Anna Vasilevna**, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department higher, mathematics Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, tel. : (057)–703–13–72.

УДК 004.05

**Л. В. ГОЛОВКИНА, А. О. МАРТЫНОВ, А. В. ТИХОНЕНКО**

### УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ НА ESP

Рішенням задачі для створення системи автоматизованого управління є вибір оптимального типу модулів ESP, визначення способу підключення компонентів системи з урахуванням WiFi і використання одноплатного комп'ютера в якості сервера і сховища мультимедійних файлів, вибору і використання програмного середовища. В якості апаратного рішення був обраний модуль ESP-12-E, в якості програмного рішення використовувалась система домашньої автоматизації MajorDoMo, розгорнута на одноплатному комп'ютері Orange PI.

**Ключові слова:** ESP, MajorDoMo, Orange PI, автоматизація систем, WiFi, PHP.

Решением задачи для создания системы автоматизированного управления является выбор оптимального типа модулей ESP, определение способа подключения компонентов системы с учетом WiFi и использования одноплатного компьютера в качестве сервера и хранилища мультимедийных файлов, выбора и использования программной среды. В качестве аппаратного решения был выбран модуль ESP-12-E, в качестве программного решения использовалась система домашней автоматизации MajorDoMo, развернутая на одноплатном компьютере Orange PI.

**Ключевые слова:** ESP, MajorDoMo, Orange PI, автоматизация систем, WiFi, PHP.

Solution of the task of creating an automated control system is the selection of the optimal type of ESP modules, the definition of ways to connect the system components based on WiFi and use of single board computer as a server, and storage of multimedia files, selection and use of the software environment. The ESP-12-E module was chosen as a hardware solution. To this module has been connected relay module, and four-buttons keyboard for control subsystems. As a software solution has been used home automation system MajorDoMo, deployed on Orange PI single-board computer. In result of our work we have a fully automated lighting system, and video surveillance system, what controlled with web-interface.

**Keywords:** ESP, MajorDoMo, Orange PI, system automation, WiFi, PHP.

**Введение.** Существующий подход к решению задачи создания системы автоматизированного управления осуществляется на базе различных аппаратно-программных средств, одним из которых является применение современных модулей ESP с соответствующим выбором программного обеспечения.

Задача объединения нескольких компонентов в единую систему для управления различным оборудованием с использованием единого интерфейса при помощи любого мобильного устройства через Wi-Fi являлась основной для реализации и программирования.

Реализация проекта зависит от необходимости