

УДК 621.384.4

**О. И. ТИХОН**

**МЕТОД КОМБИНИРОВАННОЙ ФОТОХИМИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ  
КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН**

Фотохимически усиленный процесс очистки, основанный на использовании ультрафиолета с озоном (УФ/О<sub>3</sub>) в условиях атмосферного давления, характеризуется отсутствием радиационных повреждений сформированных структур ИС по сравнению с другими широко применяемыми методами сухой очистки, а относительная простота реализации позволяет данному методу обработки находить применение для решения ряда технологических задач микроэлектроники.

Технологические маршруты изготовления интегральных микросхем предусматривают проведение ряда повторяющихся операций. Одними из таких операций являются удаление фоторезистивных маскирующих плёнок и межоперационная очистка поверхности полупроводниковых пластин от органических загрязнений, базовыми технологическими процессами для которых считаются использование жидких технологических сред и вакуумно-плазменная обработка.

В качестве альтернативы среди способов удаления органических плёнок и загрязнений с поверхности полупроводниковых пластин применение находит фотохимически усиленный процесс очистки, основанный на использовании ультрафиолета с озоном (УФ/О<sub>3</sub>) в условиях атмосферного давления. УФ/О<sub>3</sub> процесс

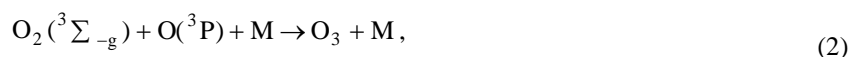
характеризуется отсутствием радиационных повреждений сформированных структур ИС по сравнению с другими широко применяемыми методами сухой очистки [1]. Процедура обработки в УФ/О<sub>3</sub> показала эффективность при работе с различными загрязнениями, включая остатки от чистящих растворителей, таких как ацетон, этанол, метанол, изопропиловый спирт, трихлорэтан и трихлортрифторэтан [2, 3].

Принцип очистки с применением УФ/О<sub>3</sub> заключается в том, что органические соединения превращаются в летучие вещества (вода, углекислый газ, азот) в результате разложения под воздействием ультрафиолетовых лучей и сильного окисления во время образования и разложения О<sub>3</sub>. Основными активирующими факторами рассматриваемого способа очистки являются ультрафиолетовое излучение и озон. Во многих случаях для формирования полезных химических соединений достаточно использовать в качестве источников излучения ртутные (Hg) ультрафиолетовые лампы низкого давления. Основной задачей в этом случае является согласование выхода источника УФ-излучения с энергиями, необходимыми для эффективного фотолиза [1].

Основные длины волн ультрафиолетовых лучей, излучаемые стандартной ртутной лампой низкого давления, составляют 184,9 нм и 253,7 нм. Полоса 184,9 нм диссоциирует молекулярный кислород на триплетный кислород

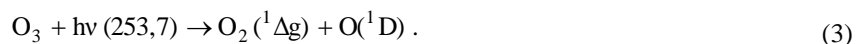


который соединяется с молекулярным кислородом в основном состоянии и образует озон



где M = O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и т. д. [4].

В то же время полоса 253,7 нм диссоциирует О<sub>3</sub>, произведенный полосой 184,9 нм или сторонним генератором озона, на молекулярный кислород или синглетный атомарный кислород, обладающий сильной окислительной способностью



Полосы 184,9 нм и 253,7 нм также активируют травление органического материала. Очистка в УФ/О<sub>3</sub> является, таким образом, преимущественно результатом фоточувствительных процессов окисления, в ходе которых органические соединения также поглощают УФ лучи, что вызывает фотолиз и выделение веществ по схеме, представленной на рисунке 1. На данной схеме  $h\nu_1$  соответствует длинам волн УФ-излучения, поглощаемым молекулами органических соединений и способствующим их разложению;  $h\nu_2$  – длинам волн 184,9–253,7 нм, обеспечивающим разложение О<sub>2</sub> и формирование озона;  $h\nu_3$  – длинам волн 253,7 нм и более, обеспечивающим формирование атомарного кислорода при диссоциации озона.

Ключевыми факторами для удаления фоторезиста с кремниевых пластин является присутствие постоянного потока О<sub>2</sub>/О<sub>3</sub> рабочего газа в камеру травления, а также наличие нагрева обрабатываемой пластины.

Согласно [4] повышение температуры подложки ведёт к росту скорости удаления фоторезиста, что связано с интенсификацией взаимодействия между резистом и атомами кислорода, сформированными в результате фотохимического или термического разложения О<sub>3</sub>. С ростом температуры обрабатываемого полимера и рабочего газа растёт скорость термического разложения О<sub>3</sub>, тем самым увеличивая концентрацию атомов кислорода, участвующих в травлении.



Рисунок 1 – Упрощённая схема процесса очистки в ультрафиолете с озоном

При рассмотрении влияния УФ-излучения на процесс обработки фоторезиста считается [4], что при более низких температурах (150–200 °С) основное влияние на рост скорости удаления материала оказывает активация и/или фотолизация резиста, приводящая к усилению процесса травления атомами кислорода. Также росту скорости удаления материала способствует высокая концентрация атомарного кислорода у поверхности подложки, являющаяся следствием процесса фотодиссоциации озона. Основной эффект от УФ-облучения

заключается в снижении энергетического барьера для травления фоторезиста при низких и умеренных температурах и повышении химической активности газового потока за счёт диссоциации озона.

Таким образом, относительная простота реализации, а также возможность проведения процесса в условиях атмосферного давления позволяет методу комбинированной УФ/О<sub>3</sub> обработки найти применение для решения таких технологических задач микроэлектроники, как удаление органических загрязнений, модификация поверхности для лучшей адгезии и герметизации, предварительная очистка пластин перед процессом эпитаксии и осаждением тонких плёнок, улучшение смачиваемости поверхности и других.

Практический интерес также представляет возможность применения УФ/О<sub>3</sub> метода очистки для удаления углеродных полимерных остатков с внутренней поверхности плазменных реакторов. Использование подобного способа очистки может позволить сократить время простоя технологического оборудования, тем самым повысив эффективность производственного процесса.

#### *Список литературы*

1. Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology / edited by K. Reinhardt, W. Kern. – 3rd edition. – Norwich : William Andrew, 2018. – 760 p.
2. Vig, John R. UV/ozone cleaning of surfaces / John R. Vig // J. Vac. Sci. Technol. – 1985. – Vol. 3, № 3. – P. 1027–2034.
3. Basics of UV-Ozone Surface Cleaning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.samcointl.com/basics-uv-ozone-cleaning-surfaces/>. – Дата доступа: 15.01.2019.
4. Wood, P. C. Critical Process Variables for UV-Ozone Etching of Photoresist / P. C. Wood, T. Wydeven, O. Tsuji // MRS Proceedings. – 1993. – Vol. 315. – P. 237–242.

A photochemically intensified cleaning process based on the use of ultraviolet with ozone (UV/O<sub>3</sub>) at atmospheric pressure is characterized by the absence of radiation damage to the formed IC structures, compared to other widely used dry cleaning methods. The relative ease of implementation of this process allows it to find application for solving a number of technological problems in microelectronics.

*Тихон Олег Игоревич*, аспирант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, [kritgar@bsuir.by](mailto:kritgar@bsuir.by).

Научный руководитель – *Мадвейко Сергей Игоревич*, кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, [madveyko@bsuir.by](mailto:madveyko@bsuir.by).