

УДК 621.357.7; 544.653.23; 544.654.2

А.М. Гиро, И.И. Кузьмар, Л.К. Кушнер  
БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АНОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Анодные электрохимические процессы широко используются в электронике. С помощью анодного травления создаются отверстия с высоким аспектным отношением для реализации TSV-технологии в производстве 2,5D-микросборок [1]. Анодное окисление алюминия используется для создания темплат при изготовлении наноразмерных металлических волокон. Известны способы изготовления носителей магнитной записи путем заполнения пор в оксиде алюминия магнитными сплавами на основе кобальта [2].

Технологические возможности синтеза пространственно-упорядоченных композиционных наноструктур существенно расширяются при проведении процессов в нестационарных режимах электролиза.

Для проведения анодных процессов в нестационарных условиях разработан и изготовлен макетный образец программно-аппаратного комплекса для проведения высоковольтных анодных процессов в нестационарных режимах, показанный на рис. 1.

Программно-аппаратный комплекс обеспечивает работу в режимах стабилизации тока и напряжения. При стабилизации тока имеется возможность ограничения максимального напряжения. В режиме стабилизации напряжения можно задать ограничение по максимальному току. Эти возможности особенно важны в анодных процессах, так как в начальный момент технологического процесса, когда анодный окисел только начинает расти, необходимо ограничивать ток. В процессе роста покрытия можно задать максимальное напряжение формовки окисла, которое определяет толщину барьера слоя.

Режимы работы программно-аппаратного комплекса задаются из окна управляющей программы персонального компьютера. Задается форма, длительность и амплитуда импульсов, длительность пауз, режим стабилизации (ток или напряжение) и уровень ограничения (тока в режиме стабилизации напряжения, напряжения в режиме стабилизации тока).

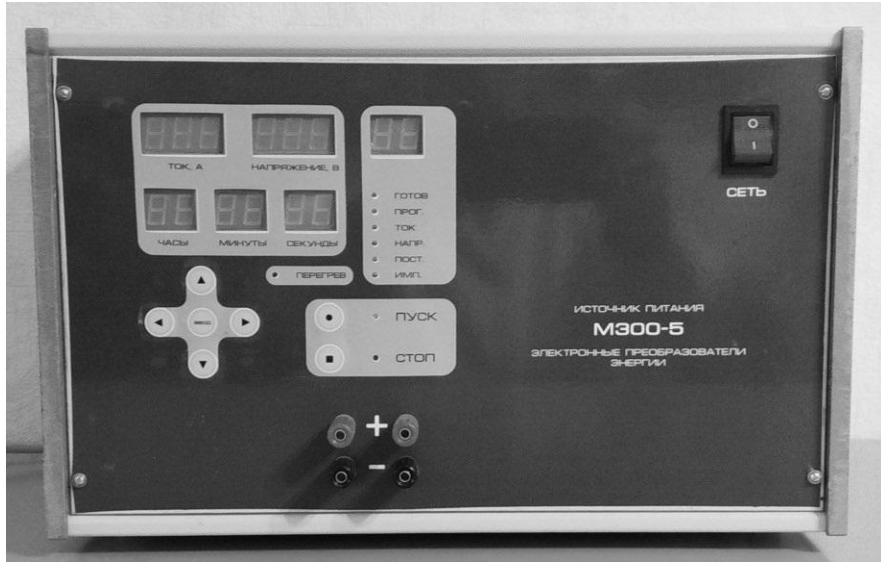


Рис. 1 – Программно-аппаратный комплекс для проведения высоковольтных анодных процессов в нестационарных режимах

Длительность процесса может быть задана по количеству циклов либо по времени. В любой момент времени процесс может быть приостановлен (с последующим продолжением) либо полностью остановлен оператором из окна управляющей программы.

Форма импульсов синтезируется кусочно-линейным способом на двадцати отрезках, как это подробно описано в [3]. Длительность импульса и паузы – от 1 секунды до 10 часов. Примеры некоторых простых форм импульсов приведены на рис. 2.

Амплитуда выходного тока может быть задана в пределах от 0,1 до 5 А, выходного напряжения – от 1 до 250 В.

Программно-аппаратный комплекс может работать как под управлением персонального компьютера, так и в автономном режиме под управлением одной из ста программ, предварительно записанных в энергонезависимую память устройства. Связь с персональным компьютером осуществляется через порт USB.

Питание осуществляется от сети переменного тока 230 В, 50 Гц. Входные и выходные цепи гальванически изолированы от сети и от корпуса, обеспечена защита от короткого замыкания и перегрева.

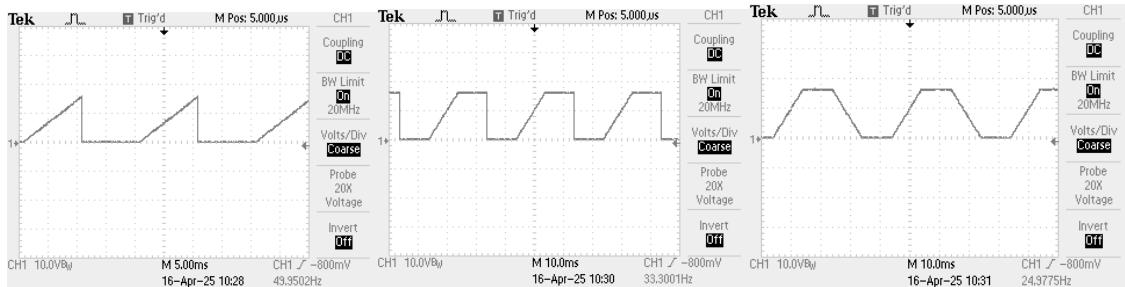


Рис. 2 - Осциллограммы синтезированных управляемых импульсов различной формы

Опытная эксплуатация программно-аппаратного комплекса показала, что проведение анодных процессов в нестационарных условиях с использованием импульсных токов позволяет реализовать технологические процессы, которые сложно, а в некоторых случаях невозможно осуществить на постоянном токе. Использование импульсных токов позволяет решить следующие проблемы:

- значительно улучшить тепловые режимы при проведении анодных процессов на высоких плотностях тока;
- улучшить массоперенос в отверстиях с высоким аспектным отношением – на протяжении паузы за счет диффузионных процессов из отверстий удаляется отработанный электролит и поступает свежий;
- интенсифицировать процессы в труднодоступных местах, таких как отверстия с высоким аспектным отношением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнер, Л.К. Электрохимическое заполнение TSV-отверстий на реверсированном токе / Л.К. Кушнер, Л.И. Степанова, И.И. Кузьмар, А.А. Хмыль, С.К Лазарук, А.В. Долбик // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2018, Т. 18, № 1, – С. 179–182.
2. Гиро А.М. Композиционные пленки для систем магнитной записи / А.М. Гиро. – Мн.: Бестпринт, 2005. – 226 стр. ISBN 985-6722-98-5.
3. Гиро, А.М. Программно-аппаратный технологический комплекс синтезирующий импульсы стабильного тока произвольной формы для процессов нестационарного электролиза / А. М. Гиро // Современные электрохимические материалы и оборудование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 18–20 мая 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 25–28.