

высокие. Однако образцы составов с оксидом стронция обладают более высокими значениями электрического сопротивления, что обусловлено низкой подвижностью катионов  $Sr^{2+}$ .

Структура синтезированных образцов оценивалась с помощью оптического микроскопа при увеличении в 100 раз: сделан вывод о том, что в целом она однородна, при этом отчетливо видны кристаллы кварца и редкие включения железосодержащих фаз.

Фазовый состав образцов, синтезированных при 1375 °С, представлен корундом ( $Al_2O_3$ ) и небольшим количеством муллита ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ). Судя по интенсивности дифракционных максимумов кристаллической фазы муллита содержится намного меньше, чем корундовой составляющей. Это оказывает благотворное влияние на свойства материалов, так как известно, что муллит имеет более низкую температуру плавления, чем корунд, а также несколько снижает показатели электрического сопротивления. Кристаллы корунда обеспечивают высокие показатели химической стойкости, механической прочности и удельного электрического сопротивления.

Установлено, что совместное введение модифицирующих добавок карбоната бария, борной кислоты и фторида кальция позволяет снизить температуру обжига изделий на 50 °С без ухудшения их электрофизических характеристик.

В результате исследований разработан электроизоляционный керамический материал, который характеризуется следующими показателями свойств: температура обжига – 1350 °С, водопоглощение – 0,15 %; открытая пористость – 0,37 %; кажущаяся плотность – 2429,0 кг/м<sup>3</sup>; ТКЛР при 300 °С –  $5,9 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ; химическая стойкость к щелочам – 99,5 %, к кислотам – 98,8 %; удельное объемное электрическое сопротивление при 100 °С –  $0,6 \cdot 10^{12} Ом \cdot м$ ; при 500 °С –  $0,9 \cdot 10^8 Ом \cdot м$ , что позволяет рекомендовать его для получения высокотемпературных электроизоляторов.

#### Литература

1. Химическая технология керамики: учеб. пособие / под ред. И. Я. Гузмана. – М.: Стройматериалы, 2013. – 493 с.
2. Тареев, Б. М. Физика диэлектрических материалов / Б. М. Тареев. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

УДК 004.056

### ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДНК-МЕТОК

Ковыньев Н.В.

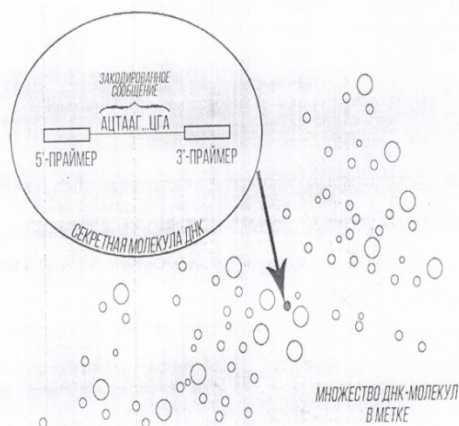
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Все формы жизни, включая человека, содержат молекулу, которая несет генетический код это жизни – ДНК. Форма молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты – двойная спираль, каждая нить которой состоит из оснований: аденина, гуанина, цитозина и тимина [1]. Они образуются в тройки (триплеты) различной последовательности, идущие друг за другом и образующие очень длинный и сложный код – нить ДНК. При связывании двух нитей, аденин может быть связан только с тиминном, а цитозин только с гуанином. Каждая полимерная нить удерживается вместе с водородными связями.

Ученым удалось выявить различия в ДНК человека, которые обнаруживаются у людей с различными заболеваниями, различиями, связанными с личностью и умственной деятельностью. Знание этого сложного и уникального кода в настоящее время приводит к прорыву медицинской науки, поскольку препараты разрабатываются для лечения в обход ДНК-кода. Неудивительно, что данный код нашел свое применение не только в области медицины и биологии, а, например, в криптографии, идентификации и маркировке.

Технология ДНК основана на процедуре геномной стеганографии [2]. Стеганография – наука о скрытой передаче информации путем сохранения в тайне самого факта передачи. Ее использование с системой ДНК-меток для защищенной печати позволяет создать практически неподдельный маркер. Его невозможно взломать компьютером из-за биологической природы ДНК. Не проводя биохимические эксперименты, ни один суперкомпьютер не сможет понять, какая цепь из множества полимерных цепей является секретной.

Метод геномной стеганографии, или ДНК-метки, заключается в сокрытии секретного сообщения в ДНК. Иными словами: генерируется молекула ДНК, содержащая некоторое секретное сообщение, и с двух сторон окруженная праймерами ПЦР (5' – праймер в начале и 3' – праймер в конце) – ключами. Далее закодированное в ДНК сообщение маскируется в геном ДНК-коде организма огромной сложности (например, человека), либо в случайной ДНК-смеси. В итоге секретная молекула скрывается среди миллионов других похожих молекул. В этом заключается метод двойного сокрытия секретного сообщения, характерный для геномной стеганографии [3].



Принцип работы геномной стеганографии

Цепочка ДНК «секретного сообщения» содержит закодированное послание, окруженное последовательностями ключевых праймеров ПЦР. Шифрование не имеет первостепенного значения в данном случае, поэтому можно использовать простой шифр замещения для кодирования символов в риплетах ДНК (к примеру: ААА – А, ААГ – Б, ААЦ – В, ААТ – Г и т.д.). Поскольку человеческий геном содержит миллиарды нуклеотидных пар, фрагментированная и денатурированная ДНК человека обеспечивает благоприятную область для сокрытия секретного ДНК. Минимизация размеров образца обработанной человеческой ДНК со спрятанным сообщением, позволит скрывать еще и среду, содержащую сообщение, от противника. Для получателя это не станет проблемой – зная последовательность праймеров ПЦР ДНК и ключ шифрования, можно легко провести амплификацию ДНК, а после считать нужное сообщение.

Закодированное сообщение может быть восстановлено только предполагаемым получателем, который, во-первых, знает, где искать необходимую метку, а во-вторых, знает последовательности праймеров ПЦР, являющиеся ключами к процедуре считывания. Для считывания получатель использует имеющиеся у него ключи ПЦР для инициирования реакции – высокочувствительном базовом методе в молекулярной биологии. Он приводит к производству экспоненциальных копий молекулы ДНК закодированного сообщения, позволяя обнаружить нужную молекулу и затем считать информацию с помощью анализа последовательности ДНК.

Даже если противник каким-то образом обнаружил образец, ему будет чрезвычайно трудно прочитать сообщение, не зная конкретных последовательностей в праймерах ПЦР. Попытки амплификации ДНК или клонирования образца также не увенчаются успехом, ведь задача подобрать нужные праймеры практически

невыполнима. Если после ПЦР ДНК увеличилась на ограниченное число геномных последовательностей, ключ шифрования покажет, какой продукт ПЦР декодирует нужное сообщение. Этот метод позволяет использовать клоны одной метки для отправки индивидуальных сообщений разным получателям, имеющим индивидуальный набор праймеров.

ДНК-метка используется для маркировки аутентификации важных изделий. По своей природе ДНК-молекула может быть добавлена в любые другие материалы, в зависимости от способа применения. ДНК, когда она изолирована и восстанавливается в лаборатории, представляет собой белое (фактически бесцветное) твердое вещество. Оно водорастворим, поэтому очень удобно добавлять ДНК-молекулу в различные жидкие материалы печати (чернила, струйный принтер). ДНК является чрезвычайно стабильной и долговечной молекулой и поэтому идеально подходит для использования в качестве метки безопасности. ДНК может храниться неизменной в течение миллиона лет, а также не подвержена воздействию экстремальных климатических условий. ДНК-метка может быть размещена под какой-либо печатью, не имея явных признаков своего присутствия и обеспечивая стабильную и эффективную процедуру считывания. В случае использования ее в совокупности с чернилами вопрос долговечности такой ДНК-метки определяется долговечностью таких чернил. Чтение, или проверка ДНК – это лабораторный процесс, начинающийся с полимеразной цепной реакции, которая производит амплификацию ДНК и помогает идентифицировать определенную последовательность среди огромного количества других последовательностей ДНК. Путем разбавления образца правильными ключами праймера и с использованием множества циклов ПЦР, секретный код ДНК поступает из зашумленной области в основную последовательность. Для процедуры проверки используются флуоресцентные сигналы (например, с помощью звукового дисембратора), процесс считывания занимает долгое время и требует дорогостоящего оборудования, однако данный способ маркировки не является открытым, а значит моментальное считывание на данном этапе невозможно. Перспективными выглядят разработки, связанные с ДНК-чипами, однако дороговизна таких чипов и оборудования для работы еще очень высока.

ДНК-метки используются как инструмент против подделки, в качестве идентификаторов в сфере контроля доступа и аутентификации продукции. ДНК-чернила могут быть добавлены на любые изделия под специальной биркой или просто нанесены поверх этикетки. Перспективы данной технологии уникальны, ведь этот метод дает самый надежный, долговечный и скрытный

способ маркировки продукции. Возможности использования ДНК-меток для нанесения на аппаратные изделия настолько широки, что, при должной работе в этом направлении, подобные метки могут вытеснить иные методы маркировки.

Главные плюсы ДНК-меток в сравнении с другими маркировками – высокая скрытность нанесения, потому что молекулы ДНК можно внедрить в любой материал при помощи специального оборудования. ДНК-чернила можно использовать в малом объеме в месте, которое известно только отправителю и получателю. Долговечность такой метки зависит только от долговечности материала, в который добавлена ДНК-молекула, сама она может существовать без изменения миллионы лет.

Уровень защиты от несанкционированного доступа или подделки очень высок, так как взломать ДНК-код можно только зная секретные праймеры ПЦР, иначе это сделать практически невозможно. Защита от несанкционированного уничтожения также зависит от материала самой метки, в которую добавлена ДНК-молекула, однако, в случае нанесения ДНК-метки на само изделие, ее уничтожение возможно только совместно с уничтожением самого изделия. Объем кодируемой информации очень велик, так как можно искусственно создавать ДНК практически любого размера и количества триплетов оснований в нем.

Основные минусы – сложность считывания и записывания так как необходимо работать в

лаборатории и использовать сложное медицинское оборудование. Отсюда вытекают два других минуса – время нанесения и считывания, а также стоимость такой метки, ввиду большой стоимости оборудования она является чересчур высокой.

Однако технологии развиваются, вопрос применения ДНК-молекул в мире стоит очень остро в связи с большими открытиями в медицине в этой области. ДНК-метки уже используются в сфере раскрытия преступлений – в особенно важных и охраняемых помещениях использующие специальные распылители ДНК-молекул. Они оседают на одежде, обуви, волосах и коже и в будущем могут быть идентифицированы на людях, находившихся в определенном помещении в момент кражи или взлома, тем самым ДНК-метки помогают раскрывать преступления. Области применения данной технологии очень обширны, а значит, в будущем стоит ожидать решения основных проблем ДНК-меток и их широкое распространение.

#### Литература

1. James D. Watson. DNA: The Secret of Life.- Arrow Books, 2014. – 512 p.
2. Inventor: Bancroft Frank Carter, Clelland Catherine. DNA-based steganography, United States patent US US631211 B1 – 2001.11.06.
3. Маерле А.В., Сергеев И.В., Алексеев Л.П. Метод иммуно-ПЦР: перспективы использования// Иммунология. – 2014. – №1. – С. 44-48.

УДК 621.382.2/3

### ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

Скопцов А.М., Врабий Э.М., Баранов В.В., Шахлевич Г.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Процесс производства полупроводниковых изделий состоит из множества технологических этапов, по которым следует партия полупроводниковых пластин. По завершению различных процессов (снятие фоторезиста, травление и др.) пластины подвергаются химической обработке для финишной очистки поверхности от различных загрязнений и подготовке к дальнейшим технологическим этапам (обработка в диффузионных печах, легирование, покрытие эпитаксиальными слоями, нанесение пленочных покрытий) [1, 2]. Особое значение имеют процессы финишной обработки при изготовлении приборов типа диодов Шоттки, где качество поверхности играет принципиальную роль для достижения таких параметров, как величина обратных токов и временная стабильность. Также химическая обработка проводится при производстве структур без

осуществления подготовительных операций, например, при подготовке пластин к срачиванию при изготовлении структур кремний-диэлектрик-кремний [2].

В значительной мере на процесс производства интегральных микросхем влияют этапы химической обработки полупроводниковых пластин. Результаты очистки пластин оказывают большое влияние на качество различных структур и микроэлектронных изделий на их основе в целом [3]. Уровень очистки напрямую влияет на качество продукции, в связи с чем производители микроэлектронных компонентов принимают меры повышения степени очистки [4].

По результатам очистки поверхности полупроводниковых пластин проводится анализ степени чистоты от различных загрязнений (механические частицы, органические примеси и др.).