



DOI 10.37539/2949-1991.2023.4.4.024

УДК 621.45.034.32

Филатов Максим Александрович, магистрант,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия

Научный руководитель:
Сырчин Владимир Кимович, д.т.н, профессор института НМСТ
Национальный исследовательский университет
«МИЭТ», г. Москва, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТОКА CO₂ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИНЫ

Аннотация. Замена органических растворителей – тема, которая привлекает все больший интерес в мире из-за озабоченности общества за сохранение окружающей среды и здоровья людей. Органические растворители, используемые в различных отраслях промышленности, могут иметь негативное воздействие на окружающую среду и здоровье работников, а также приводить к загрязнению воды и воздуха.

Ключевые слова: диоксид углерода, очистка снегом, полупроводниковая пластина, форсунка.

В качестве альтернативы жидкостным методам очистки полупроводниковых пластин предлагается очистка снегом CO₂, также называемая криогенным бластингом, представляющий собой сухой процесс удаления частиц субмикронного размера и углеводородных пленок высокоскоростной снегообразной струей из углекислого газа. Данный метод может быть использован во многих производственных операциях, требующих высокой чистоты очистки. Процесс очистки определяют три основных фактора: кинетическая энергия частиц, эффект «термического шока» и процесс сублимации (рис 1).



Три преимущества Очистки Криогенным Бластингом

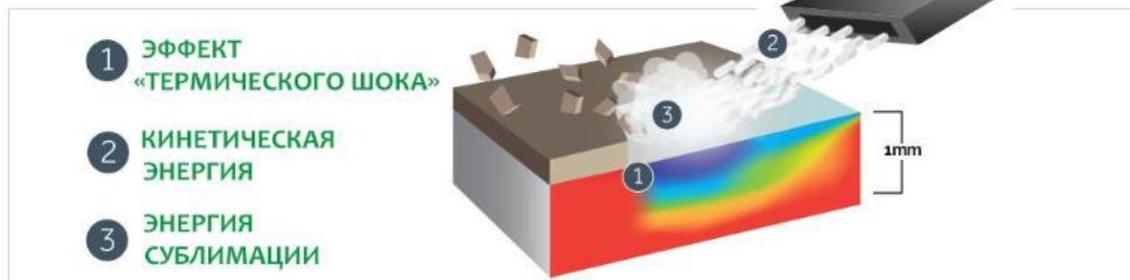


Рисунок 1 – Криогенный бластинг [1]

По окончании процесса очистки данным методом удаляются загрязнения, при этом не остаётся других вторичных отходов. Это делает метод очистки струей сухого льда эффективным, щадящим к очищаемым материалам и в то же время экологически чистым. При этом можно аккуратно удалять отложения и загрязнения без необходимости демонтажа очищаемого оборудования, что обеспечивает экономию времени и денежных затрат.

Очистка снегом диоксида углерода обладает уникальными свойствами по удалению органических веществ и частиц. Это простой процесс очистки поверхности, при котором поток мелких частиц сухого льда ударяется о поверхность и очищает ее с помощью физических взаимодействий. При этом удаляются частицы всех размеров, от видимого до нанометрового масштаба, а также органические остатки, растворители реагентного класса. Комбинированная способность удаления частиц в таком широком диапазоне размеров и органических веществ делает очистку снегом CO_2 уникальной по своему потенциалу.

В отличие от других методов обработки поверхностей, таких как пескоструйная обработка или химическая обработка, криобластинг не использует абразивные материалы или опасные химикаты, что делает его более безопасным и экологически чистым.

На рисунке 2 представлена схема механизма очистки движущейся жидкости. Движущаяся жидкость создает на частице силу сопротивления,



пропорциональную площади поперечного сечения частицы. Когда сила сопротивления превышает силу сцепления частиц, частица отрывается от поверхности и уносится движущейся жидкостью. Силы адгезии, с которыми обычно сталкиваются — сила Ван-Дер-Ваальса, капиллярная конденсация и индуцированное дипольное притяжение - изменяются в зависимости от первой степени диаметра частицы. Поскольку сила сопротивления, действующая для удаления частицы, уменьшается быстрее, чем сила адгезии, удерживающая частицу на поверхности, методы очистки жидкостным сопротивлением становятся менее эффективными для удаления частиц малого диаметра. Точка пересечения обычно составляет от 0,5 до 1,0 мкм.

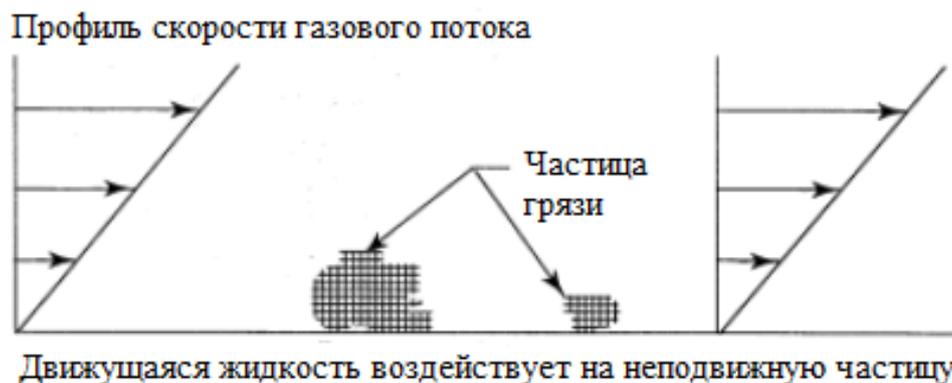


Рисунок 2 – Схема механизма очистки движущейся жидкости [3]

Поскольку сила сцепления частиц преодолевается за счет передачи импульса от движущейся частицы CO_2 , эффективность очистки должна оставаться высокой для мелких частиц. В то время как на импульс, доступный в движущейся частице CO_2 , не влияет размер частицы загрязняющего вещества, передача импульса от частицы CO_2 к частице загрязняющего вещества может быть более или менее эффективной с небольшими частицами. Но до тех пор, пока эффективность передачи импульса не уменьшается быстрее, чем диаметр частиц, очистка CO_2 будет оставаться такой же эффективной для мелких частиц, как и для крупных.



Воздействие мелких частиц на поверхности приводит к возникновению напряжений, превышающих предел текучести многих материалов. Во время кратковременного переходного процесса удара существует распределение давления по границе раздела частица-поверхность. Если локальное давление превышает предел текучести материала частицы, частица будет пластически деформироваться. Для твердого CO_2 предполагается, что предел текучести равен давлению в тройной точке. При условиях, обеспечивающих достаточную теплопередачу, как только давление в тройной точке будет достигнуто, образуется жидкая фаза, которая больше не выдерживает напряжения сдвига, и частица поддается. Короткоживущая пленка жидкого CO_2 на границе раздела частица-поверхность может растворять пленочные загрязнения. Когда жидкая пленка затвердевает по мере того, как частица покидает поверхность, растворенные загрязнения пленки уносятся прочь.

В целом, очистка снегом CO_2 удаляет частицы, которые физически прикреплены к поверхностям, а также органические остатки. Это в первую очередь физический процесс очистки, а не абразивный процесс

Преимуществами криобластинга являются высокая эффективность, точность и контроль над процессом очистки и обработки, а также минимальное повреждение материала. Кроме того, процесс криобластинга не оставляет следов на поверхности материала, что делает его идеальным для использования в узких или труднодоступных местах.

Криобластинг жидким диоксидом углерода (CO_2) – это метод очистки поверхностей, который использует высокоскоростную струю жидкого CO_2 , охлажденного до температуры около -78 градусов по Цельсию. Этот метод подходит для очистки многих типов материалов, включая пластины из кремния.

Криобластинг пластины из кремния диоксидом углерода – это метод очистки и обработки поверхности, который использует струю диоксида углерода (CO_2). Струя CO_2 направляется на поверхность материала с высокой скоростью и приводит к удалению загрязнений и покрытий. (рис. 3).

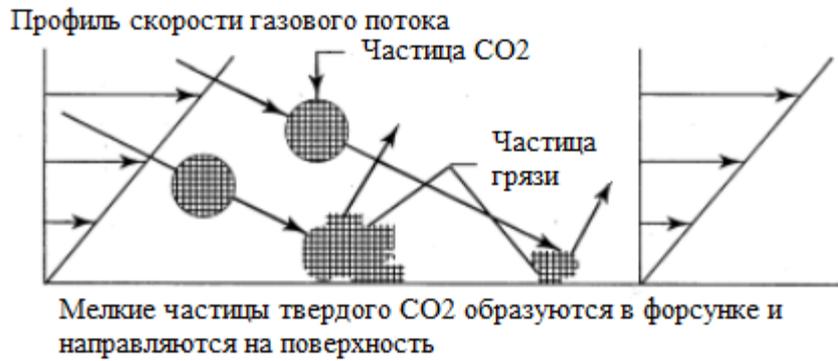


Рисунок 4 – Схема удаления частиц с помощью очистки CO₂ [3]

В микроэлектронике и микросистемной технике процесс очистки снегом углекислого газа позволяет удалять твердые частицы и тонкопленочные органические остатки с кремния, составных полупроводников, МЭМС и тонкопленочных подложек. Очистка снегом CO₂ выполняется быстро, безвредно для окружающей среды и не наносит ущерба.

Процесс начинается с подготовки криобластера, который поставляет CO₂ через распылитель. Далее, струя CO₂ направляется на поверхность пластины из кремния, вызывая моментальное испарение при контакте с поверхностью материала. В результате этого происходит быстрое расширение и охлаждение поверхностного слоя материала, что вызывает его «взрыв», то есть отслоение.

Процесс криобластинга диоксидом углерода – это эффективный метод очистки и обработки, который подходит для многих типов материалов и поверхностей. Он обладает большими перспективами массового использования в процессах микроэлектроники из-за высокой степени очистки, при этом, оказывая минимальный вред на здоровье человека и экологии.

Список литературы:

1. Walter H., Dry surface cleaning with CO₂ snow / H. Walter // Group Technical Center. – 2019.
2. Robert S., Carbon Dioxide Snow Cleaning / S. Robert // Particulate Science and Technology. – 2019. – С. 37-57.
3. Peter K., Development of CO₂ snow cleaning for in situ cleaning of μCMM stylus tips / K. Peter // The University of Nottingham. – 2018.