

всплывает на поверхность металла со стенок и дна ковша.

Шлак, плавающий на поверхности металла, задерживают также сгребалкой [2]. Также используются чайниковые ковши, имеющие футерованную, не доходящую до дна, перегородку для отделения шлака. Между перегородкой и носиком ковша остается вертикальный канал для металла [2].

Однако при этом невозможно полностью вылить металл из ковша, в противном случае плавающий на поверхности металла шлак через пространство между перегородкой и дном ковша попадет в струю металла.

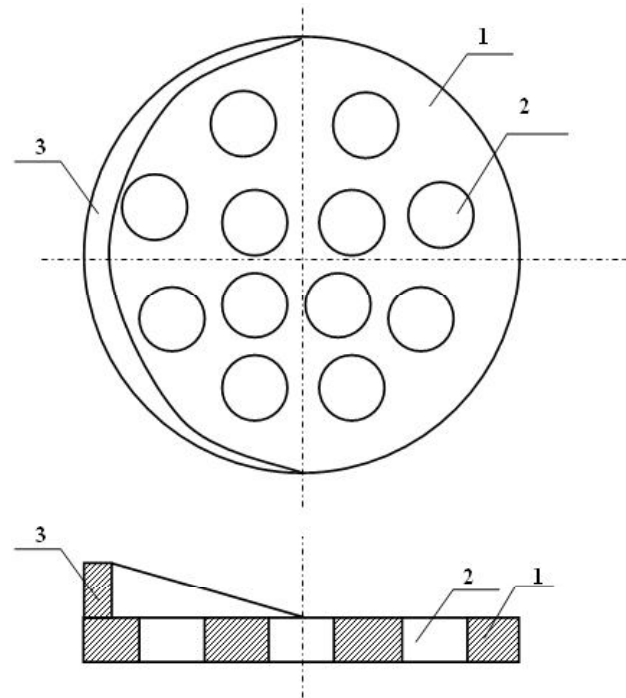
Вследствие этого предлагается использовать свободно плавающую на поверхности жидкого металла разделительную перегородку, которая вместе с наклоном ковша меняет свое положение, позволяя полностью вылить металл. Перегородка (рисунок) делается из материала, плотность которого находится между плотностями металла и шлака (например, титан), покрытая огнеупорной обмазкой, например, молотым шамотом, смешанным с жидким стеклом или огнеупорной глиной.

Перегородка имеет основное тело 1, отверстия 2 для выхода шлака, поднимающегося со стенок и дна ковша в процессе заливки на поверхность ковша, а также борт 3, обращенный в сторону носика ковша, то есть истечения струи металла из ковша.

Диаметр перегородки d_n немного меньше диаметра ковша d_k ($d_n=0,95 \times d_k$). При этом шлак будет всплывать на свободную поверхность и задерживаться

между отверстиями перегородки или между перегородкой и стенкой ковша.

Таким образом, появляется возможность полного истечения металла из ковша и недопущение его попадания в струю металла.



Вставка для удержания шлака в ковше

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 5044610 США. Способ предотвращения попадания шлака в струю металла, вытекающего из ковша (резервуара). Koffron Robert J. Опубл. 03.09.91.
2. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1977. 393 с.

УДК 621-181.4

**А.З. ИСАГУЛОВ,
О.А. ШАРАЯ,
В.Ю. КУЛИНОВ,
Е.П. ЩЕРБАКОВА,
И.В. БАЙДАУЛЕТОВА**

Современное состояние вопроса в области кремнийсодержащих наноматериалов

В настоящей работе методом зонда Ленгмюра исследованы распределения по скоростям ионов в факеле при абляции одной мишени кремния и в плазменном пучке, сформированном пересекающимися факелами при абляции двух мишеней кремния. Получены времяпролетные кривые (ВПК) ионного тока на зонд при расстояниях зонд-мишень в интервале 40-157 мм. Проведена аппроксимация ВПК суммой одномерных распределений Максвелла по скоростям для нескольких групп ионов. Измерено распределение толщины пленки в плоскости осей узконаправленных факелов. Получено распределение времени прихода пика ВПК от координаты относительно биссектральной оси. Получены образцы пленок кремния с шероховатостью поверхности 1 нм.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. Эксперименты проводились в ваку-

умной камере, которая откачивалась турбомолекулярным насосом до давления 10^{-6} Торр. Мишени в виде дисков из монокристаллического кремния закреплялись в оправе и вращались для однородности выработки мишени. Лазерная эрозионная плазма от кремниевой мишени образовывалась под действием излучения твердотельного YAG:Nd³⁺ лазера с модуляцией добротности. Длительность импульса по полувысоте составляла 15 нс, энергия в импульсе 300 мДж. Луч делился на два равных, которые затем фокусировались на поверхность мишеней линзами с фокусным расстоянием 30 см. Площадь пятна фокусировки на мишени 0,65 мм².

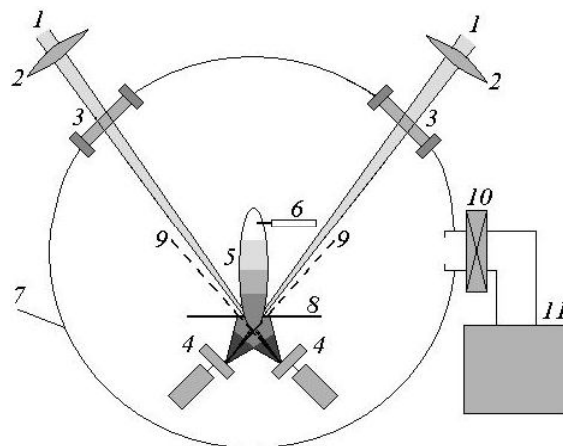
Зонд Ленгмюра длиной 5 мм изготавливался из вольфрамовой проволоки диаметром 0,2 мм, которая помещалась в керамическую трубку. Зонд располагался перпендикулярно оси факела. Перемещение зонда в

вакуумной камере осуществлялось вдоль оси эрозионного факела в интервале 40-157 мм. Потенциал зонда мог изменяться в пределах от 0 до -18 В. Источником регулируемого напряжения на зонде служила батарея аккумуляторов, которая одним полюсом через потенциометр подключалась к зонду, а другим полюсом через нагрузочный резистор заземлялась [1]. Для стабилизации потенциала зонда во время протекания тока источник регулируемого напряжения шунтировался емкостью 2,5 мкФ. Ток зонда регистрировался на резисторе утечки 1 кОм с использованием быстродействующей платы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) АТ-5102 фирмы International Instruments и записывался на ПК. Отсчет времени прихода зарядов на зонд производился от момента генерации лазерного импульса, регистрируемого фотодиодом, сигнал с которого подавался на канал запуска АЦП.

В режиме перекрещенных пучков угол между мишенями и, соответственно, между факелами составлял 90°. Оси вращения мишеней располагались в одной плоскости. Перпендикулярно биссектрисе угла, образованного осями факелов, устанавливался неподвижный экран с отверстием. Диаметр отверстия выбирался таким, чтобы исключить прямую видимость областей абляции мишеней с места расположения зонда, чем исключалось прямое попадание на зонд заряженных частиц от исходных факелов. При исследовании одного из исходных факелов регистрировался сигнал с зонда, расположенного на оси разлета этого факела, второй луч перекрывался, и экран не устанавливался.

ВПК для обоих случаев имеют один ярко выраженный максимум с резким передним фронтом и более пологим задним фронтом, спадающим до нуля примерно за 30 мкс. Все ВПК были получены в интервале времени от 0 до 50 мкс, но для лучшего разрешения на рисунке 2 интервал времени сокращен до 20 мкс. Амплитуда сигнала ВПК с увеличением расстояния зонд-мишень падает в результате расширения факела.

Были получены ВПК ионного тока на зонд на разных расстояниях зонд-мишень как для плазменного пучка, образованного при пересечении двух факелов (рисунок 2а), так и для факела от одной мишени кремния (рисунок 2б).

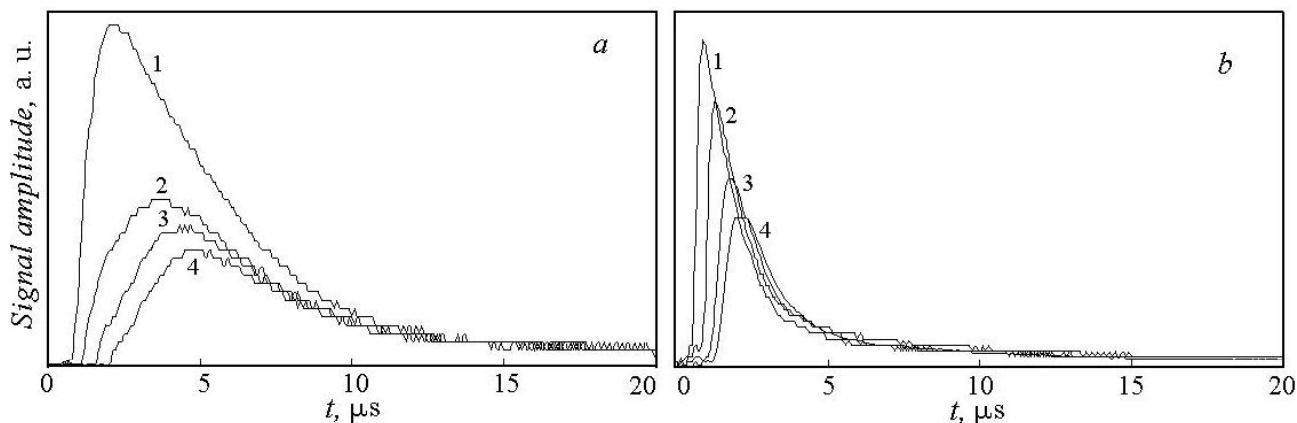


1 – излучение твердотельного ИАГ:Nd³⁺ лазера;
2 – фокусирующая линза; 3 – окно вакуумной камеры;
4 – мишень; 5 – плазменный пучок; 6 – зонд
Ленгмюра; 7 – вакуумная камера; 8 – диафрагма;
9 – ось факела; 10 – вакуумный затвор;
11 – турбомолекулярный насос

Рисунок 1 – Схема установки зондовых исследований плазменного пучка при абляции кремния

Из рисунка 2 видно, что задержка переднего фронта сигнала пропорциональна расстоянию зонда до мишени. Были определены времена прихода лидирующей группы ионов от расстояния зонд-мишень в интервале 40-157 мм. Время прихода определялось по задержке между моментом абляции мишени и максимумом сигнала с зонда. Для обоих случаев образования эрозионного факела эта зависимость имеет линейный характер, то есть скорость разлета лидирующей группы ионов кремния не зависит от расстояния до мишени и составляет в плазменном пучке, образованном пересекающимися факелами, 31 км/с, а в факеле от одной мишени кремния – 70 км/с.

Асимметрия зондовых кривых, представленных на рисунке 2, связана с неравновесным распределением ионов по скоростям в факеле [2]. Наиболее вероятная скорость: L – расстояние зонд-мишень; t – время. Так, ВПК для факела от одной мишени являются суммой четырех групп положительно заряженных частиц, распространяющихся со скоростями, равными 71 км/с; 35,5 км/с; 18 км/с и 9 км/с. На рисунке 3 представлены



а – для плазменного пучка, образованного при пересечении двух факелов; б – для факела одной мишени
Рисунок 2 – Зондовые ВПК на разных расстояниях зонд-мишень: 1 – 72 мм; 2 – 102 мм; 3 – 132 мм; 4 – 157 мм

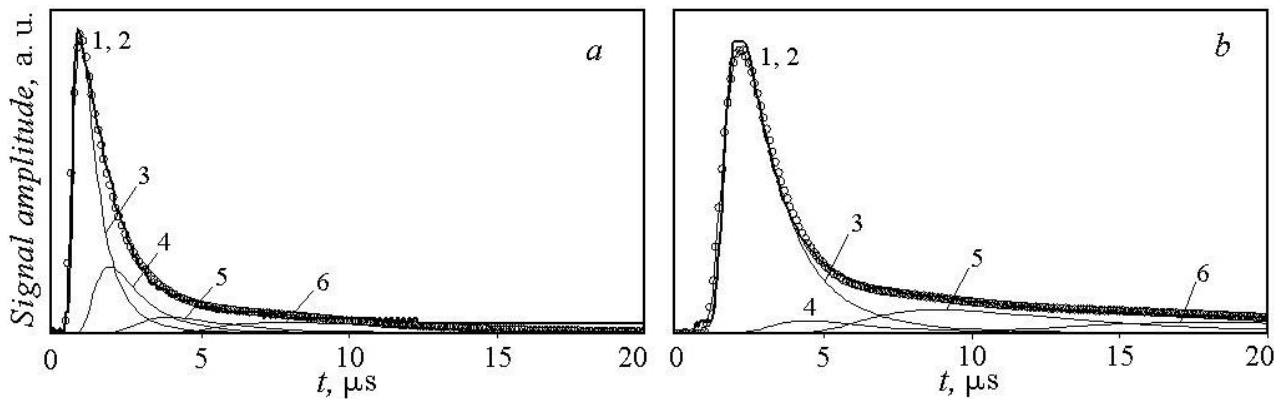


Рисунок 3 – Экспериментальные ВПК факела от одной мишени для расстояний зонд-мишень 72 мм (а) и 157 мм (б) и их аппроксимация суммой четырех максвелловских кривых. Толстой сплошной линией обозначена экспериментальная кривая 1, кружками отмечена расчетная кривая 2, представляющая собой сумму максвелловских кривых 3, 4, 5 и 6 для групп ионов со скоростями 71 км/с; 35,5 км/с; 18 км/с и 9 км/с соответственно

ВПК для расстояний зонд-мишень 72 и 157 мм и их аппроксимация суммой четырех максвелловских кривых. Видно, что суммарные кривые, обозначенные на рисунке 3 кружками, практически совпадают с экспериментальными ВПК.

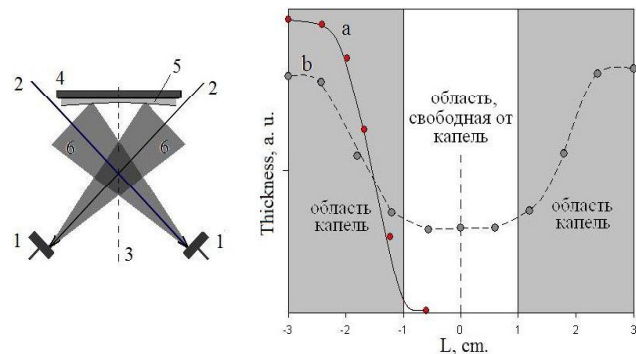
Сравнивая ВПК ионов эрозионного факела от одной мишени (рисунок 2б) и пучка, распространяющегося по биссектрисе угла между осями исходных факелов (рисунок 2а), можно видеть, что энергетический спектр отклоненного пучка существенно отличается от энергетического спектра исходных факелов. Максимальная скорость в отклоненном пучке существенно ниже, чем скорость лидирующей группы ионов одиночного факела. Это вызвано тем, что эффективность отклонения ионов в пучках пропорциональна плотности ионов в пересекающихся пучках $n(t)$ и сечению столкновения ионов Q . Аналогичный вид имеет и выражение для тока на зонд в отклоненном пучке.

Был проведен расчет тока на зонд для плазменного пучка, образованного при пересечении двух факелов, для всех исследованных расстояний зонд-мишень. При расчетах были взяты только группы ионов со скоростями 71 км/с и 35,5 км/с, т.к. для более медленных групп ионов время взаимодействия велико [2] и вкладом от них можно пренебречь. Полученные для $Q \sim 1/V^2$, где V – скорость ионов, расчетные кривые хорошо совпадают с экспериментальными ВПК для всех исследуемых расстояний. В общем случае, наибольшее отклонение будут испытывать ионы из тех участков факела, для которых произведение концентрации и сечения рассеяния будет максимальным.

На рисунке 4 указаны области осаждения капель и зона, свободная от капель. Кривая *a* показывает распределение толщины пленки, полученной при абляции только одной мишени, а кривая *b* описывает распределение толщины пленки при абляции двух мишеней (перекрещенные пучки).

Также было получено распределение времени прихода пика ВПК от координаты относительно биссектральной оси. Для этого зонд перемещался по дуге в плоскости разлета плазменных факелов, причём радиус дуги выбирался так, чтобы расстояние от точки пересечения факелов до зонда составляло 6 см.

Плотность энергии на мишени составляла 20 Дж/см². Полученное распределение представлено на рисунке 5.



1 – мишень; 2 – излучение лазера; 3 – биссектральная ось; 4 – подложка; 5 – пленка кремния; 6 – факел
Рисунок 4 – Схема исследования распределения по толщине пленки в плоскости осей факелов относительно биссектральной оси (обозначена пунктиром)

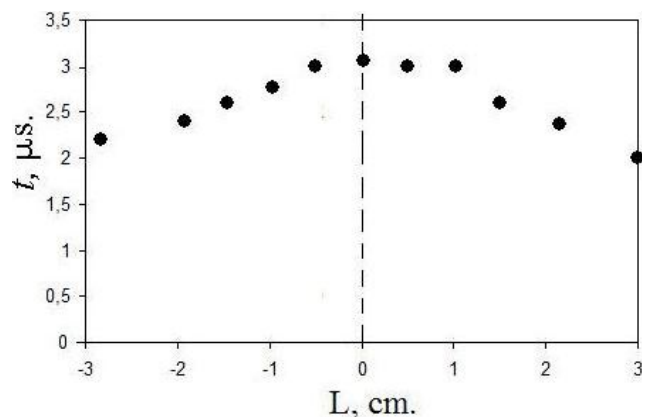


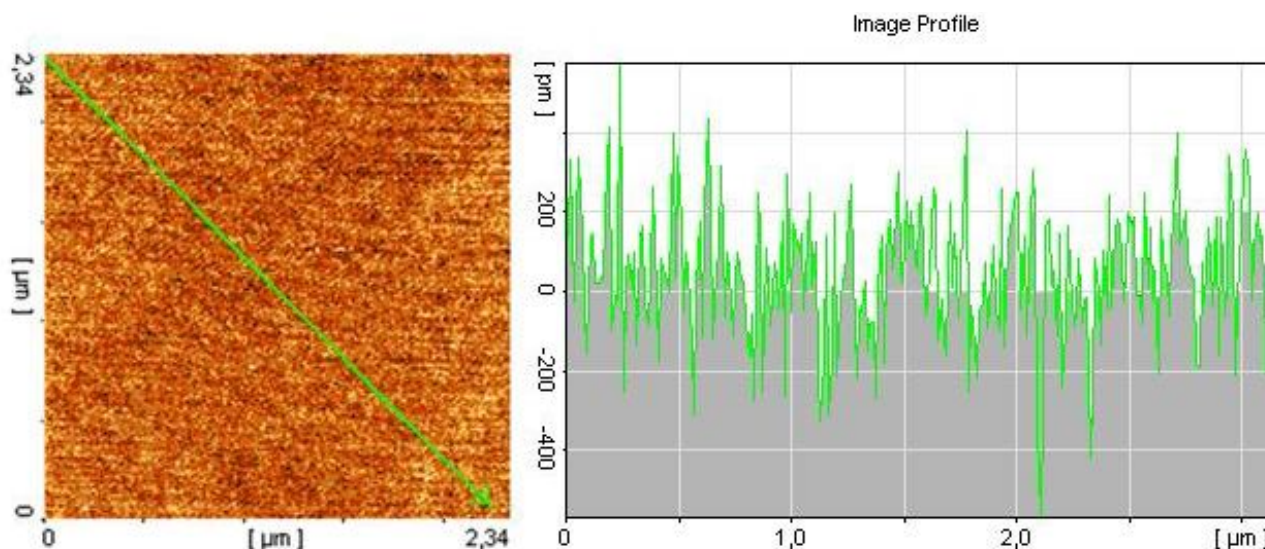
Рисунок 5 – Распределение времени прихода пика ВПК от координаты относительно биссектральной оси (обозначена пунктиром) при плотности энергии на мишени 20 Дж/см²

Из распределения видно, что скорость ионов, распространяющихся вдоль биссектральной оси, а соответственно и энергия меньше скорости ионов, двигающихся вдоль направлений разлета исходных эро-

зионных факелов [3].

Методом пересекающихся пучков получены образцы пленок кремния с шероховатостью поверхности

менее 1 нм. На рисунке 6 представлено изображение участка тонкой пленки кремния, полученное при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ).



Рисунке 6 – АСМ-изображение участка тонкой пленки кремния толщиной 150 нм без капель с шероховатостью поверхности 0,5 нм

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харрис, П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века [Текст]: Пер. с англ. / П. Харрис; Под ред. и с доп. Л.А. Чернозатонского. М.: Техносфера, 2003.
2. Пул, Ч. Нанотехнологии [Текст]: учеб. пособие: Пер. с англ. / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; Под ред. Ю.И. Головина. М.: Техносфера, 2004.
3. Технические и программные средства автоматизации научных иссл. М.: Наука, 1987.

УДК 621.784.4

**Г.С. ЖЕТЕСОВА,
О.П. МУРАВЬЕВ,
Ю.О. МУРАВЬЕВА**

Конструктивные особенности инструментов для обработки деталей роликами

Широкое применение методов поверхностно-пластической деформации (ППД) в промышленности привело к созданию многочисленных конструкций инструмента и схем обработки. Выбор рациональной схемы обработки и оптимальной конструкции инструмента определяет технико-экономические показатели процесса и зависит от различных факторов, важнейшими из которых являются: тип производства, жесткость технологической системы, размеры и конструкция обрабатываемой детали, точности её изготовления и других [1].

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили сформулировать положения, которые рекомендуется применять при создании прогрессивного и совершенствовании существующего инструмента для ППД, а также при выборе рациональных режимов обработки. Сущность этих рекомендаций и положений сводится к следующему [1].

1. Качество и производительность обработки ППД зависит от размеров и формы деформирующих роликов, вида и размеров поверхностей деталей.

2. На величину показателей качества поверхностного слоя преимущественное влияние оказывает максимальное контактное напряжение или глубина внедрения деформирующего элемента в деталь. Среднее давление пропорционально глубине его внедрения в обрабатываемую поверхность.

3. При постоянной глубине внедрения деформирующего элемента с увеличением его размеров и размеров детали среднее давление уменьшается, причем незначительно, так как пропорционально увеличивается площадь контакта, а максимальные напряжения в контакте уменьшаются.

4. Один и тот же контакт между поверхностями детали и деформирующим инструментом как по форме, так и по размерам можно обеспечить деформирующими элементами разных начальных размеров, имеющих эквидистантно расположенные поверхности.

5. При постоянной форме и размерах контактной зоны усилие деформирования увеличивается при уменьшении размеров деформирующих роликов, обеспечивающих данный контакт, при этом увеличивается и глубина его внедрения в деталь.