

УДК 681.7.02

Очистка поверхности перед нанесением покрытия

В. В. Потелов, Б. Н. Сенник, А. Б. Сухачев

ФНЦП ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева", Московская обл., Россия

Е. А. Несмелов

ФГУП «Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

Рассмотрены вопросы очистки поверхности оптических элементов, а также процесс финишной очистки поверхности световым излучением лампы ИФП-2000. Выработаны рекомендации по использованию процесса очистки поверхности световым излучением как составной части общей технологии нанесения покрытий любого назначения.

Перед загрузкой в вакуумную камеру все поверхности оптических элементов проходят тщательную очистку [1, 2]. Однако после этого на поверхности остается слой адсорбированных атмосферных газов, т. е. воды, CO, CO₂, поступающих на очищенную поверхность после обработки. Покрытие, осаждаемое на поверхность со слоем адсорбированных газов, имеет сниженную энергию адгезии и может в некоторых случаях отслаиваться. Это становится возможным из-за того, что в покрытиях практически всегда возникают внутренние напряжения, а при слабой связи покрытия с подложкой усилия, вызываемые напряжениями, достаточны для срыва покрытия. Связь покрытия через слой адсорбированных газов всегда значительно слабее, чем непосредственно с подложкой, так как эта связь осуществляется силами Ван-дер-Ваальса [3], а не химическим взаимодействием. Кроме того, в начале процесса откачки вакуумной установки за счет адиабатического охлаждения газа под колпаком происходит дополнительная сорбция атмосферных газов и паров вакуумных масел, мигрирующих из вакуумных насосов, что только снижает энергию адгезии покрытия. Для предотвращения этого перед началом высоковакуумной откачки проводится финишная очистка поверхностей разрядом при давлении под колпаком порядка 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст. Этот процесс давно отработан, применяется повсеместно [4].

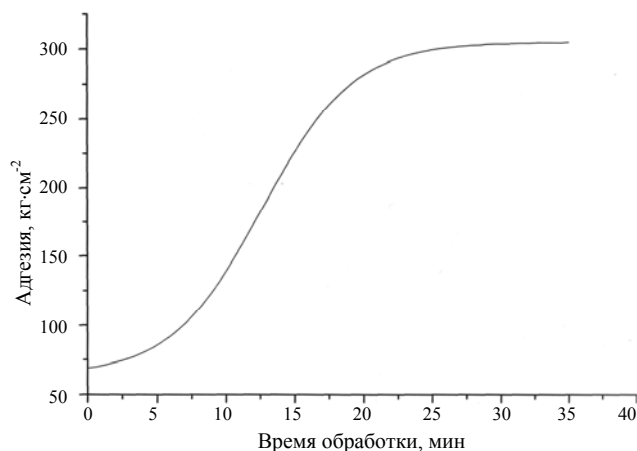


Рис. 1. Изменение силы отрыва пленки алюминия от времени обработки покрываемой поверхности газовой разрядом

Измерение силы отрыва покрытия от времени обработки покрываемой поверхности газовой разрядом проводилось на установке, описанной в работе [4]. Выбор алюминия в качестве материала покрытия диктовался только удобством условий наблюдения. После отрыва пленки, особенно при малой адгезии, видна чистая подложка, поверхность которой легко наблюдается и позволяет оценивать площадь оторванной пленки. Для пленок из других материалов изменяется только величина силы адгезии, но весь характер изменений сохраняется.

Газовый разряд вызывает десорбцию адсорбированных газов и некоторую активацию покрываемой поверхности, что и приводит к увеличению силы отрыва пленки. Однако газовый разряд, обеспечивающий очи-

стку и активацию поверхности за счет бомбардировки заряженными ионами, приводит дополнительно к появлению на поверхности инородных частиц и увеличению поверхностного поглощения за счет дополнительной аморфизации поверхностного слоя [5, 6]. Анализ литературы показывает, что этих эффектов можно избежать, если использовать облучение покрываемой поверхности перед нанесением покрытия светом импульсной лампы [7]. При этом необходимость в газовом разряде отпадает. Следует отметить, что десорбция адсорбированных газов излучением импульсных ламп происходит уже при достижении высокого вакуума, т.е. практически полностью исключается возможность сорбции на покрываемую поверхность посторонних веществ во время продолжения откачки вакуумной системы. Кроме того, применение световой очистки несколько уменьшает аморфизованный слой на покрываемой поверхности [8], что также оказывается существенным плюсом. Этот процесс опробован при использовании импульсной лампы ИФП-2000 с кварцевой колбой. Так же как и в [7], мы провели оценку энергии светового импульса, приводящего к десорбции адсорбированных на поверхности газов. Метод наблюдения в данном случае чрезвычайно прост — это просто изменение давления в вакуумной системе. Физика процессов десорбции в этом случае вполне понятна и рассмотрена в работах [7, 9—14]. Нашей задачей было установление возможности использования этого эффекта в технологических целях.

Определение необходимой для десорбции энергии импульса показано на рис. 2, полностью соответствующем результатам работы [7].

Достаточной энергией оказывается величина 0,16 Дж·см⁻². Величина скачка давления в системе увеличивается по закону

$$P = 1,01 \cdot 10^{-3} - \frac{1,0097 \cdot 10^{-3}}{1 + \exp\left(\frac{E - 0,1487}{0,00247}\right)},$$

где P — давление, мм рт. ст.;

E — энергия вспышки, Дж·см⁻².

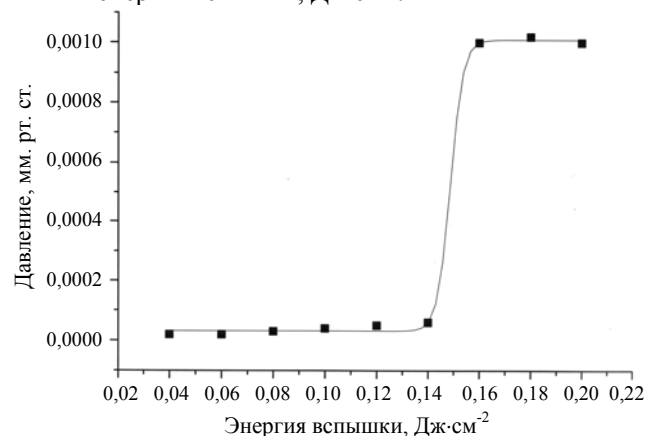


Рис. 2. Изменение давления в вакуумной системе с изменением энергии в импульсе

Изменение величины десорбции скачком объясняется тем, что в уравнение десорбции входит время жизни

адсорбированного атома (молекулы) на поверхности адсорбента, которое определяется как

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U - \alpha}{kT}\right),$$

где τ_0 — время колебания адсорбированного атома (молекулы) на поверхности в состоянии равновесия, равное приблизительно 10^{-12} с;

U — глубина потенциальной ямы при адсорбции;

α — усредненная по объему адсорбированного слоя энергия возбужденной частицы;

k — постоянная Больцмана;

T — температура.

При воздействии светового импульса с интенсивностью излучения $I(\lambda)$ и длительностью τ_1 величина α может быть определена как

$$\alpha = \tau_1 \int \gamma(\lambda) I(\lambda) d\lambda,$$

где $\gamma(\lambda)$ — поглощение частицами адсорбированного слоя.

При малой длительности импульса поглощенная энергия не успевает релаксировать, и при закаченной энергии, соответствующей глубине потенциальной ямы, происходит резкое уменьшение времени жизни адсорбированных частиц, т.е. их десорбция.

Изменение величины скачка давления уменьшается с номером импульса по экспоненциальному закону. По всей вероятности, первый импульс или неполностью очищает поверхность, или же из облака десорбированных с поверхности газов за время установления высокого вакуума (несколько минут) происходит сорбция. Поэтому процесс очистки необходимо продолжать до тех пор, пока скачок давления не исчезает полностью.

Изменение величины адгезии при световой очистке поверхности с числом импульсов показано на рис. 3.

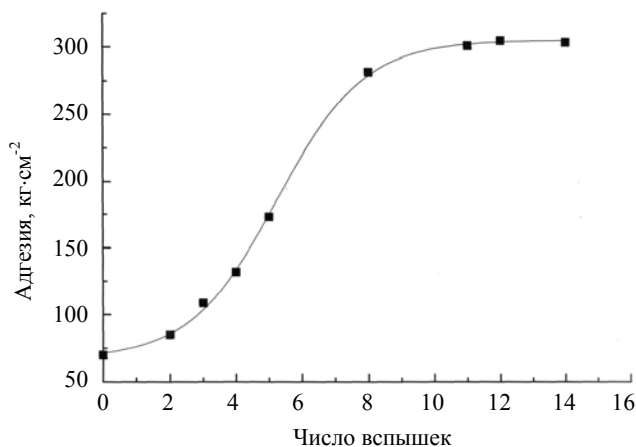


Рис. 3. Адгезия пленки алюминия к стеклянной подложке после очистки импульсами света от лампы ИФП-2000

После подачи на поверхность 11 световых импульсов скачок давления исчезает, а адгезия пленки алюминия оказывается максимальной.

Таким образом, процесс финишной очистки поверхности световым излучением лампы ИФП-2000 можно считать установленным. Этот про-

цесс удобно использовать как составную часть общей технологии нанесения покрытий любого назначения.

Выше было указано, что воздействие импульсного излучения уменьшает аморфизированный механической обработкой приповерхностный слой подложки [8]. Этот эффект легко объясняется тем, что при воздействии светового импульса на приповерхностный слой подложки происходит фотостимулированная диффузия так же как, и на адсорбированном на поверхности слое [15]. Аморфизация приповерхностного слоя есть начало процесса разрушения материала, заключающегося в разрыве межмолекулярных связей при приложении к телу нагрузки [16]. Фотостимулированная диффузия возвращает тело в равновесное состояние, т. е. приводит к уменьшению эффекта аморфизации. Использование этого процесса для оптической технологии не менее важно, чем процесс очистки поверхности от адсорбированных газов, так как при этом уменьшается поглощение в приповерхностном слое оптического элемента. Это дополнительный фактор, свидетельствующий в пользу использования световой очистки поверхности оптических элементов.

Л и т е р а т у р а

1. Технология тонких пленок: Справочник/ Под ред. Л. Майссела и Р. Глэнга, Т. 1. — М.: Сов. радио, 1977.
2. Бубис И. Я., Вейденбах В. А. и др. Справочник оптика-технолога. — Л.: Машиностроение, 1983.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1957. — 532 с.

4. Долгов В. В., Валеев А. С., Дьяков Ю. П. // Обмен опытом в электронной промышленности. 1969. № 7. С. 68—70.
5. Мейер Дж., Эрикссон Л., Дэвис Дж. Ионное легирование полупроводников. — М.: Мир. 1973. — 296 с.
6. Экитайн В. Компьютерное моделирование взаимодействия частиц с поверхностью твердого тела. — М.: Мир, 1995. — 319 с.
7. Тагиров Р. Б., Валидов М. А., Зюзин Н. А., Тальдаев Э. Т., Кукинский Н. И., Паймеров С. А. Фотодесорбция адсорбированных газов в вакуумных объемах// Физика и техника вакуума. — Киев: изд-во КГУ. 1974. С. 3—11.
8. Дзуреченский А. В., Качурин Г. А., Нидаев Е. В., Смирнов Л. С. Импульсный отжиг полупроводниковых материалов. — М.: Наука. 1982. — 208 с.
9. Тагиров Р. Б., Явишев Б. Г., Машкевич С. А., Несмелов Е. А. Избирательное расщепление слюды под действием некогерентного оптического излучения// ЖТФ. 1991. Т. 61. № 9. С. 60—66.
10. Бонч-Бруевич А. М., Вартанян Т. А., Горланов А. В., Максимов Ю. Н., Пржибельский С. Г., Хромов В. В. Фотодесорбция натрия с поверхности сапфира// Там же. 1990. Т. 97. Вып. 3. С. 1077—1085.
11. Жданов В. П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности. — Новосибирск: Наука. 1988. — 319 с.
12. Жданов В. П., Павличек Я., Кнор З. Нормальные предэкспоненциальные факторы для элементарных физико-химических процессов на поверхности// Поверхность. 1986. № 10. С. 41—46.
13. Товбин Ю. К. Теория физико-химических процессов на границе газ — твердое тело. — М.: Наука. 1990. — 287 с.
14. Киселев В. Ф., Крылов О. В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. — М.: Наука. 1978. — 255 с.
15. Бонч-Бруевич А. М., Вартанян Т. А., Пржибельский С. Г., Хромов В. В. Фотостимулированная диффузия атомов, адсорбированных на поверхности твердого тела// Оптика и спектроскопия. 2003. Т. 95. № 5. С. 830—837.
16. Глебовский П. А., Петров Ю. В. Кинетическая трактовка структурно-временного критерия разрушения// ФТТ. 2004. Т. 46. Вып. 6. С. 1021—1024.

Статья поступила в редакцию 13 июля 2006 г.

Clearing a surface before deposition

V. V. Potelov, B. N. Senik, A. B. Sukharev

The S. Zverev's Krasnogorsk Plant, Krasnogorsk, Moscow Region, Russia

E. A. Nsmelov

The State Institute of Applied Optics, Kazan, Russia

The problems of clearing a surface optical devices, and also process of finishing clearing a surface by a light radiation of the IFP-2000 valve have been considered. The guidelines on usage of a purification process of a surface by a light radiation have been developed as a constituent of the blanket technology of drawing the coats of any assigning.

* * *