

УДК 533.59

УМЕНЬШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ СТЕКЛЯННЫХ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ СВЕТОФИЛЬТРОВ МЕТОДАМИ ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ

Юрий Николаевич Смирнов⁽¹⁾, Александр Сергеевич Бабурин⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽²⁾,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Наблюдаемый переход от микро- к наноэлектронике подстегивается развитием оптоэлектронных устройств. Интегральная микроэлектроника заменяется интегральными устройствами по обработке оптического сигнала, вытесняющего электрический. В связи с этим актуальность пассивных элементов оптоэлектроники, к которым относятся оптические покрытия, трудно переоценить. Без них не обойтись при создании мощных полупроводниковых лазеров, систем ввода оптической информации, оптических фильтров.

Оптический фильтр (светофильтр) – это система, служащая для выделения участков спектра различной ширины из пучка немонахроматического излучения. Преимуществами интерференционных фильтров из диэлектриков служат их высокая эффективность, как результат отсутствия потерь на поглощение, простота изменения области пропускания, связанная обычно с изменением оптической толщины пленок, неограниченность размеров фильтров, которые фактически определяются размерами подложки. К недостаткам интерференционных фильтров следует отнести зависимость их характеристик от угла падения света на поверхность фильтра и технологические затруднения, вызванные необходимостью нанесения большого числа слоев строго контролируемой толщины [1].

При проектировании светофильтров к подложкам применяются повышенные требования к качеству поверхности для обеспечения требуемых оптических свойств при последующем нанесении функциональных слоев. Характерные величины шероховатости данных требований составляют единицы нанометров [2]. Наиболее распространенным материалом в качестве подложек является кварцевое стекло.

Целью работы было получение стеклянных подложек, которые будут использованы для дальнейших технологических операций производства светофильтров. Ключевыми параметрами было визуальное отсутствие дефектов структуры, позволяющее получить оптические свойства на последующих этапах производства, а также шероховатость поверхности, измеряемой величиной для которой явилось значение *peak-to-peak* (максимальный перепад высот пиков исследуемой подложки).

Для отработки технологии в лабораторных условиях в качестве подложек использовалось микроскопное стекло, которое, помимо диоксида кремния, содержит 15% оксидов щелочных металлов. Исходная шероховатость подложек из-за механических загрязнений варьировалась от 13 нм до 770 нм на различной опорной длине. Для подготовки проведения исследований были испробована обработка поверхности изопропиловым спиртом, а также обработка полиритом, который представляет абразивный порошок, предназначенный для полировки широкого класса оптических стекол, линз, зеркал и др.) Содержание CeO_2 – около 99%, средний диаметр частиц – 0,6 мкм.

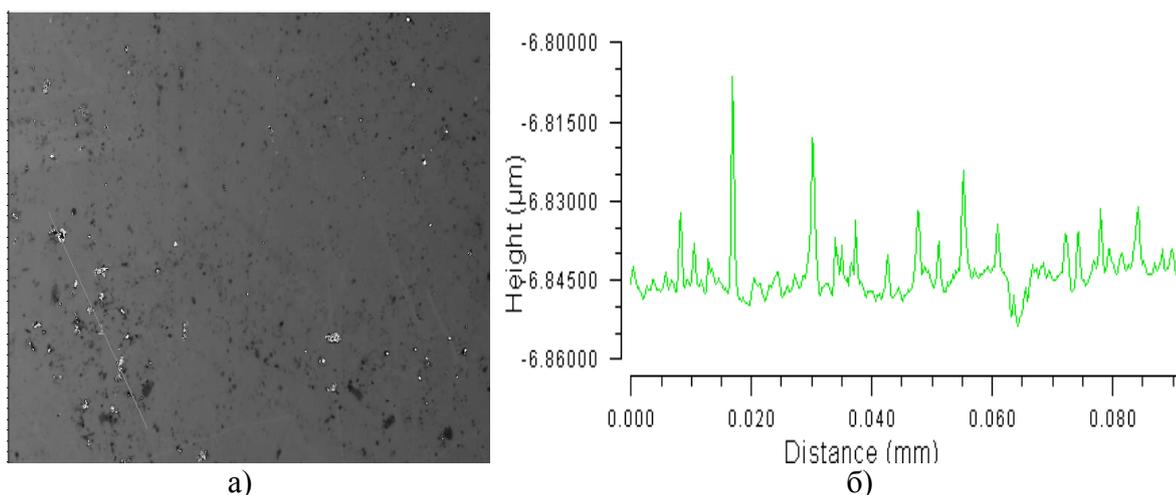


Рис 1. Поверхность исходной стеклянной пластины:
а) внешний вид поверхности образца; б) профиль шероховатости поверхности подложки

Обработка изопропиловым спиртом позволила удалить механические загрязнения. От использования полирита пришлось отказаться, поскольку, несмотря на значительные уменьшения шероховатости (до 7 нм), абразивная природа порошка вызывала появление царапин, что делало непригодным использование подложек, подготовленных таким образом.

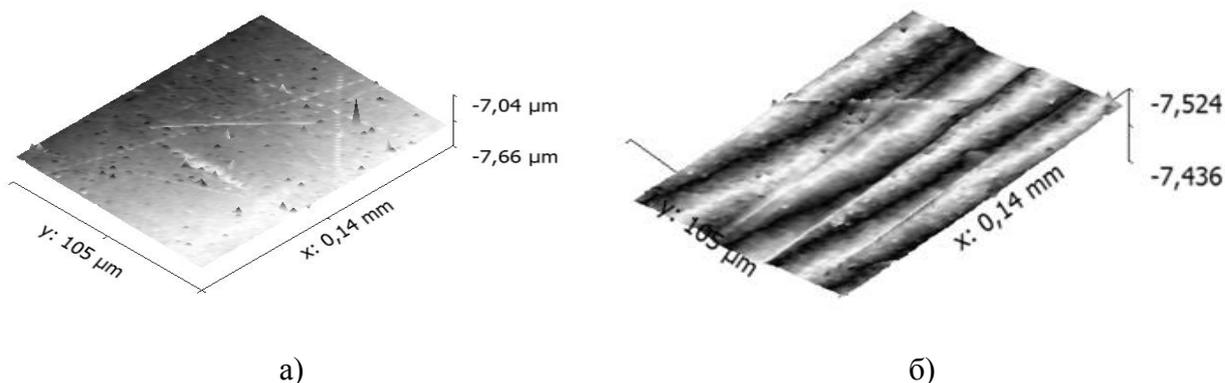


Рис 2. Внешний вид полученных поверхностей после обработки:
а) изопропиловым спиртом; б) полиритом

Все исследования поверхностей проводились с использованием интерференционного профилометра ZYGO NewView 7300.

С целью улучшения качества поверхности стеклянных подложек была включена дополнительная операция – предварительная ионная обработка. Для оценки возможности достижения требуемых показателей был проведен анализ технических решений на базе доступных установок. В качестве сравниваемых методов выступили ионно-плазменное и ионно-лучевое травление.

Плазменно-химическая обработка была реализована на соответствующем модуле ПХО установки НаноФаб 100 в «Учебно-инженерном центре нанотехнологий, нано- и микросистемной техники» (УИЦ НТ НМСТ) МГТУ им. Н.Э. Баумана [3]. Ионная обработка выполнялась на малогабаритной вакуумной установке МВТУ-11-1 [4].

Таблица 1. Технические характеристики профилометра ZYGO NewView 7300

№ п.п.	Параметр	Значение
1	Диапазон измерений по оси Z, нм	0,3 ÷ 150000
2	Средняя длина волны оптического излучения, нм	550
3	Скорость сканирования, мкм/сек	до 7
4	Разрешение в латеральном направлении, нм	370

Был проведен ряд экспериментов, позволивших оценить технологические возможности модуля плазмо-химической обработки. Была выдвинута гипотеза, что травление поверхностного загрязненного слоя улучшит качество поверхности, в том числе шероховатость. Первые два эксперимента были проведены с использованием больших ускоряющих напряжений. Добиться требуемых результатов не удалось, поскольку стравливание материала происходило по концентраторам напряжения вблизи оснастки, что видно на рисунках 6 (травление в течение 30 минут) и 7 (травление в течение 60 минут).

Таблица 2. Результаты эксперименты по травлению на модуле ПХО

№ эксперимента	Ускоряющее напряжение, В	Мощность, Вт	Время обработки, мин	Вытравленная глубина, нм
1	70	370	30	200
2	70	390	60	600

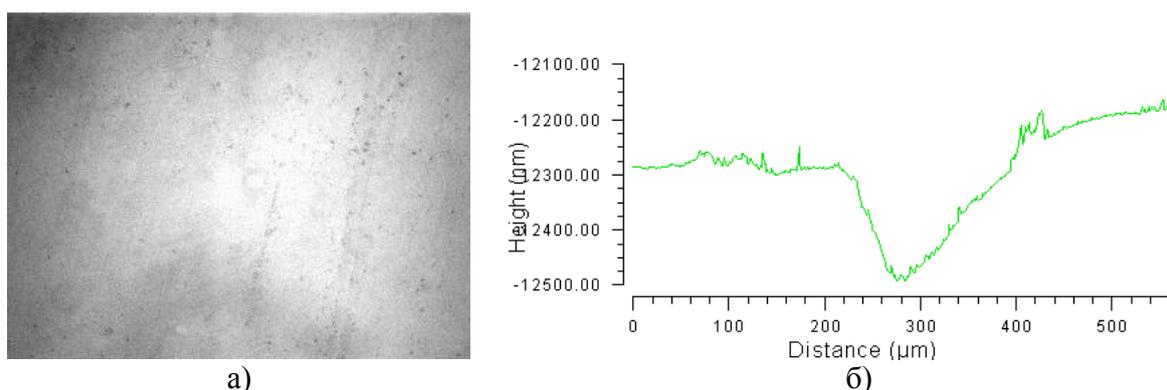


Рис. 6. Поверхность стеклянной пластины после травления в течение 30 мин:
а) внешний вид поверхности образца; б) профиль шероховатости поверхности подложки

Полученные результаты не удовлетворяли требованиям, была исследована возможность полировки с гораздо меньшими энергиями и значительно меньшей глубиной стравленного слоя. Однако после проведения эксперимента даже визуальный анализ показал, что качество поверхности ухудшилось, измерения подтвердили увеличение шероховатости (рисунок 8). Данный факт объясняется проявлением дефектов структуры стекла при прокате.

Вторым из вариантов предварительной обработки явился ионно-лучевой метод с использованием ионного источника малогабаритной вакуумной установки МВТУ-11-1. В ряде экспериментов было использовано реактивное травление с добавлением кислорода. Однако это не привело к значительному изменению результата. Более того, на поверхности проявлялись эффекты выщелачивания стекла, и такие подложки не могут быть использованы по причине несоответствия оптическим свойствам, что видно на рисунке 9,б.

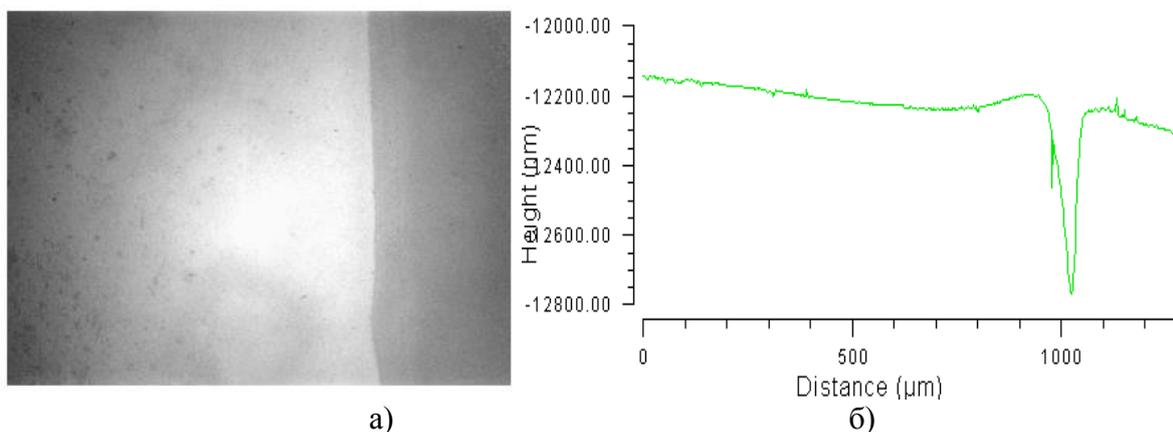


Рис. 7. Поверхность стеклянной пластины после травления в течение 60 мин:
а) Внешний вид поверхности образца; б) Профиль шероховатости поверхности подложки

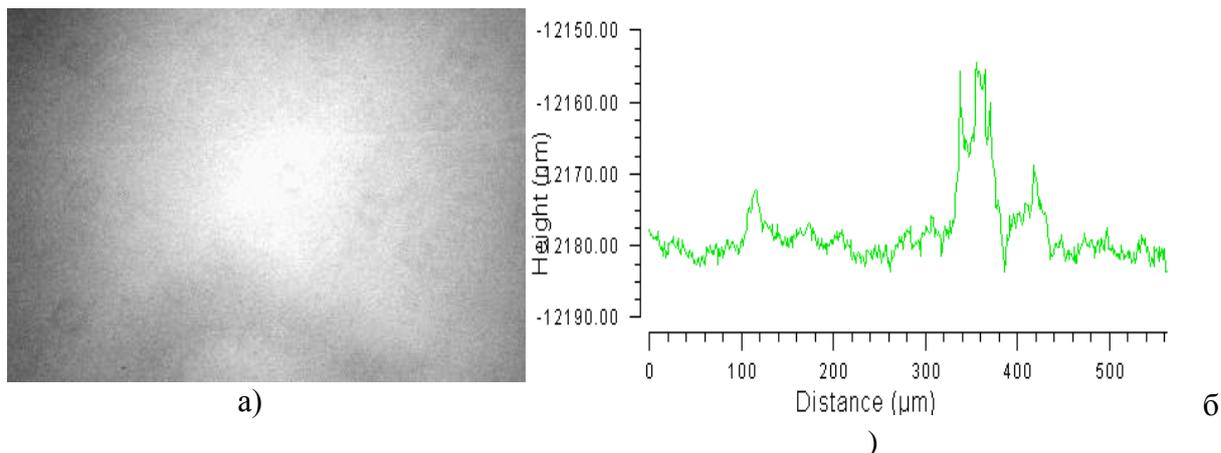


Рис. 8. Поверхность стеклянной пластины после полировки в течение 30 мин:
а) Внешний вид поверхности образца; б) Профиль шероховатости поверхности подложки

Таблица 5. Результаты экспериментов по травлению на источнике ионов

№ эксперимента	Рабочий газ	Ускоряющее напряжение, кВ	Время обработки, мин	Глубина травления, нм
1	Ar	1,5	30	70 нм
2	Ar:O ₂ –3:1	0,9	30	70
3	Ar:O ₂ –4:1	1,5	30	230
4	Ar	2	30	155

Наиболее приемлемый результат был достигнут при ускоряющей разнице потенциалов в 2 кВ. Минимальная величина Peak-to-peak составила 4 нм. Результаты представлены на рисунке 10.

Другая серия экспериментов ионно-лучевой обработки проводилась на меньших энергиях, соответствующих полировки материала. Рабочим газом был также аргон, варьировался угол наклона подложкодержателя. Их результаты приведены в таблице 6.

Как выяснилось в результате измерений, угол наклона не оказал значительного влияния, а визуальная оценка поверхности (рисунок 11) и количественные параметры шероховатости соответствуют сформулированным требованиям.

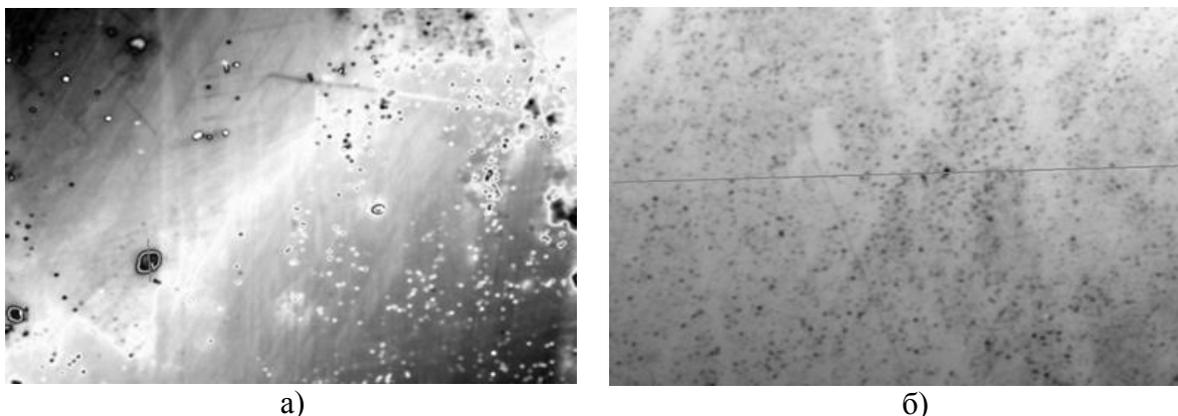


Рис. 9. Внешний вид поверхности после травления подложки в среде:
а) аргона, б) аргона и кислорода

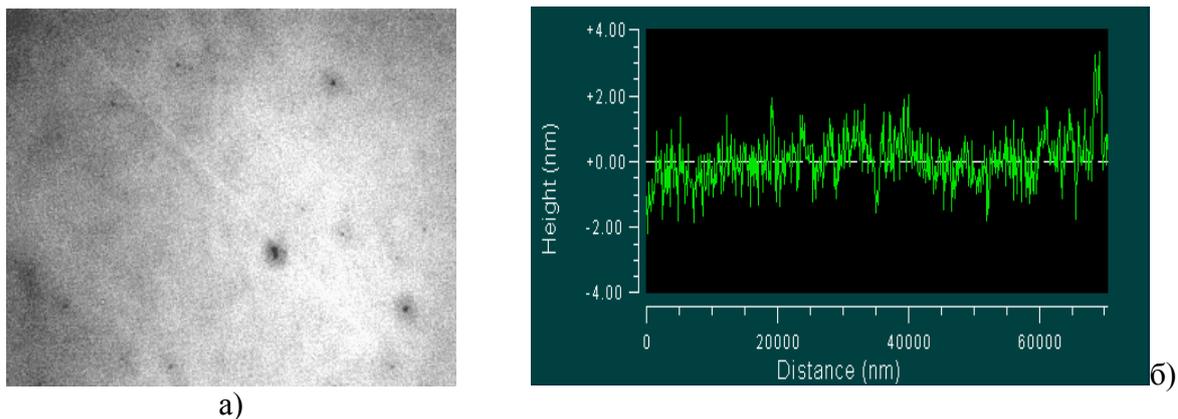


Рис. 10. Поверхность стеклянной пластины после травления с ускоряющим напряжением 2 кВ:
а) Внешний вид поверхности образца; б) Профиль шероховатости поверхности подложки

Таблица 6. Результаты экспериментов по полировке

№ эксперимента	Угол наклона подложек, град	Ускоряющее напряжение, кВ	Время обработки, мин	PtP шероховатость, нм
5	60	0,7	30	4,5
6	45	0,7	30	4,5

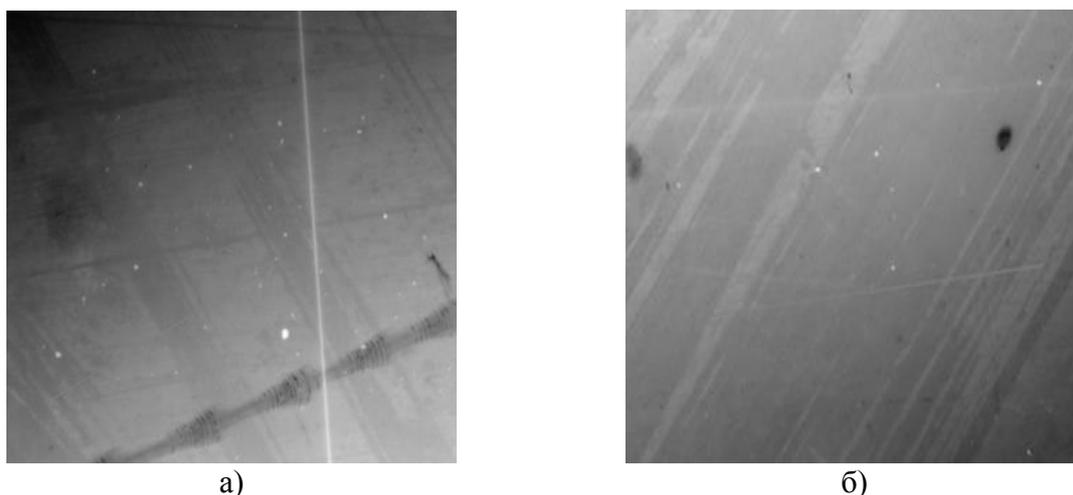


Рис. 11. Внешний вид поверхности после полировки при угле подложкодержателя в:
а) 60 градусов; б) 45 градусов

Результаты и выводы

В ходе проделанной работы были получены образцы стеклянных подложек, соответствующие технологическим требованиям, предъявляемыми при производстве светофильтров. Критериями качества являлись визуальное отсутствие дефектов структуры, а также значения шероховатости, которые оценивались параметром peak-to-peak. В ходе проведенных экспериментов была рассмотрена возможность использования методов ионно-плазменной и ионно-лучевой обработки для решения поставленных задач, опробованы режимы травления и полирования стеклянных подложек. Поставленная задача достижения нанометровой шероховатости при визуальном отсутствии дефектов была решена с помощью ионно-лучевой обработки более эффективно. Заявленные требования были достигнуты при травлении в среде аргона и ускоряющей мощности в 2 кВ, а также при полировке и ускоряющей мощности в 0,7 кВ при величине параметра peak-to-peak в 3,8 и 4,5 нм соответственно. Однако на больших энергиях происходило подпыление механической

оснастки, в то время как меньшее ускоряющее напряжение обеспечило более равномерное покрытие, значения шероховатости. Исходя из вышесказанного, именно полировка ионными лучами выглядит наиболее пригодным методом получения заданных показателей шероховатости для последующих нанесений оптических покрытий светофильтров. Дальнейшими планами после отработки технологии подготовки нанесения является подбор оптимальных режимов напыления для непосредственно получения функциональных слоев.

Литература

1. *Крылова Т.Н.* Интерференционные покрытия. – Л.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
2. Сайт ЗАО "Опто-Технологическая Лаборатория" <http://www.optotl.ru/opts>
3. Сайт НТ-МДТ. www.ntmdt.ru/nanofab100
4. *Бабурин А. С., Евлампьев А. Н.* «Вакуумная малогабаритная технологическая лабораторная установка», [Электронный ресурс] //Молодежный научно-технический вестник # 01, январь 2013». – М.: ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана".