

ЛАЗЕРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

В.И. Конов, А.М. Прохоров, В.Г. Ральченко, Ю.И. Степанов,
Н.И. Чаплиев, А.В. Ширков, М.И. Штанчаев

УДК. 535.21 : 539.12.04

Исследовано влияние имплантированных ионов серебра на окисление медных зеркал под действием излучения непрерывного CO₂-лазера. Обнаружено уменьшение скорости окисления в 2 раза по сравнению с чистой медью. Измерены поглощательная способность и оптическая стойкость зеркал.

Увеличение стойкости металлических зеркал, используемых в мощных лазерах ИК диапазона, к различного рода внешним воздействиям является актуальной задачей в связи с повышением выходных параметров таких лазеров.

Как правило, металлические зеркала располагаются в газовой среде того или иного состава. Действие лазерного излучения в этих условиях может приводить к активации химических реакций на межфазной поверхности и ухудшению оптических свойств зеркала за счет появления поглощающих излучение химических соединений на его поверхности. Примером такого рода явлений может служить окисление металлов под действием излучения непрерывных CO₂-лазеров /1/.

В качестве эффективного средства улучшения коррозионных свойств металлов в последнее время рассматривается ионная имплантация /2/. Применительно к лазерной металлооптике этот метод использовался в работе /3/, где исследовалась стойкость к разрушению импульсным излучением с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм окисленных медных зеркал, имплантированных ионами алюминия. Указывалось на значительное замедление скорости окисления при ионной имплантации в результате образования под поверхностью защитного слоя, состоящего из CuAlO₂. Вопрос же об оптических свойствах ионно-имплантированных металлов практически не изучался.

В настоящей работе исследованы коррозионные и оптические (для $\lambda = 10,6$ мкм) свойства медных зеркал, имплантированных ионами серебра, при воздействии на них излучением CO_2 -лазера.

Образцы представляли собой электрохимически полированные зеркала из меди MOO размерами $5 \times 5 \times 0,3$ мм³, часть которых имплантировалась ионами Ag^+ (энергия 80 кэВ, доза 10^{16} см⁻², плотность тока 0,4 мкА/см²). Окисление проводилось в воздухе под действием непрерывного CO_2 -лазера ЛГ-25 мощностью около 30 Вт в течение 40 мин при температуре ≈ 200 °С, измеряемой термопарой.

Установлено [4], что окисная пленка, выращенная в тех же условиях на чистой меди, представляет собой слой Cu_2O толщиной около 500 Å. На длине волны $\lambda = 10,6$ мкм такие пленки не изменяют поглощательную способность медного образца, которую определяли калориметрическим методом [1].

Измерение профилей концентрации элементов проводилось на электронном спектрометре (ЭСХА) с использованием ионного травления (Ar^+ , энергия 1,5 кэВ, плотность тока 3 мкА/см²). Скорость ионного травления составила 15–20 Å/час. Изучались линии $\text{Cu } 2p_{3/2}$, $\text{Ag } 3d_{5/2}$, $\text{O } 1s$.

На рис. 1 представлены зависимости концентраций элементов от времени ионного травления, полученные по интенсивностям соответствующих линий

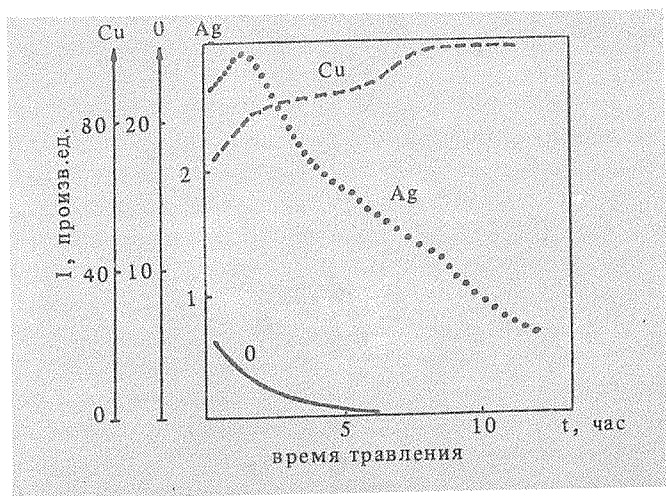
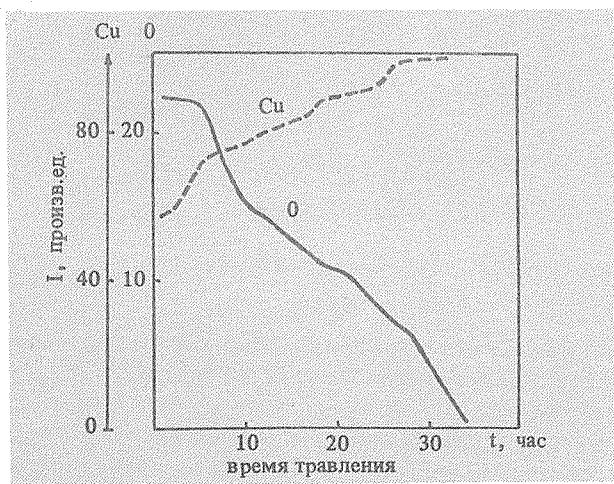


Рис. 1. Профили концентрации Cu , O и Ag : неокисленная имплантированная медь.

для неокисленного образца, имплантированного ионами Ag^+ . Максимум распределения серебра находится на глубине $\sim 40 \text{ \AA}$, в то время как процирированный пробег $R_p \approx 150 \text{ \AA} / 5$. Этот факт указывает на сильное распыление в процессе имплантации. Действительно, толщина распыляемого слоя равна $d = \gamma N_D / N \approx 300 \text{ \AA}$, где γ — коэффициент распыления ($\gamma_{\text{Cu}} \approx 25$, $\gamma_{\text{Ag}} \approx 30 / 6$); N_D — доза; N — атомная плотность Cu. Отношение $d/R_p \approx 2$ означает, что при дозе 10^{16} см^{-2} достигается концентрация Ag близкая к предельной: $N_{\text{Ag}}/N_{\text{Cu}} = \gamma^{-1} \approx 3 \text{ ат\%}$.

Сравнение профилей концентрации элементов в окисленных неимплантированном (рис. 2) и имплантированном (рис. 3) образцах показывает, что в присутствии серебра толщина окисной пленки уменьшается примерно вдвое. Профиль концентрации кислорода резко обрывается вблизи максимума распределения Ag, что свидетельствует о блокировании атомами добавки диффузии меди к границе окисел — воздух.

По-видимому, можно еще более замедлить скорость окисления путем увеличения максимальной концентрации Ag (определяемой величиной коэффициента распыления), для чего следует использовать ионы меньших энергий.



Р и с. 2. Профили концентрации Cu и O: окисленная неимплантированная медь.

Важно отметить, что улучшенные коррозионные свойства получены без существенного увеличения поглощательной способности A ионно-имплантированных зеркал (дополнительное поглощение связано с образованием радиационных дефектов и, возможно, микронеровностей поверхности при ионном распылении). Величина A образцов до имплантации находилась в пределах 0,85–0,95%. После имплантации поглощение возрастало до 1,15–1,25%, но после окисления выходило на уровень $A = 1,10\%$, что можно объяснить отжигом радиационных дефектов в приповерхностном слое металла. Следует ожидать, что предварительный термический или импульсный отжиг позволит улучшить оптические свойства ионно-имплантированных зеркал, сохраняя в то же время их высокую стойкость к окислению.

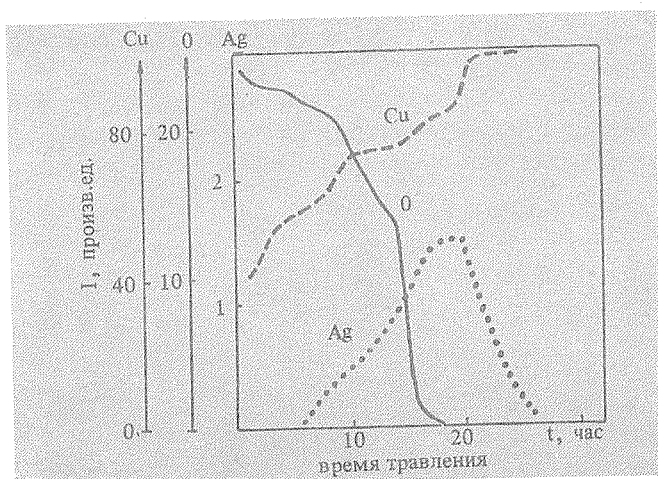


Рис. 3. Профили концентрации Cu, O и Ag: окисленная имплантированная медь.

Наряду с исследованием коррозионной стойкости имплантированных образцов были проведены измерения порогов оптического пробоя воздуха при воздействии импульсного лазерного излучения ($\lambda = 10,6$ мкм, длительность импульса $\tau \approx 1,3$ мкс, площадь пятна облучения 10^{-2} см²) на их поверхность. Пороги поджигания плазмы определялись при облучении одного и того же участка поверхности образца последовательностью импульсов с постепенно повышающейся плотностью энергии E_s . Оказалось, что как ионная имплантация, так и последующее окисление практически не снижают порогов плазмообразования, которые держатся на уровне $E_s^{\text{пор}} = 5-8$ Дж/см².

Таким образом, метод ионной имплантации позволяет без ухудшения оптических свойств зеркал и их стойкости к импульсному лазерному воздействию значительно повысить устойчивость поверхности к коррозионным процессам.

Авторы благодарны В.С. Вавилову и В.А. Дравину за приготовление имплантированных образцов.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 20 мая 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзуов М.И. и др. Квантовая электроника, 6, 466 (1979).
2. Dearley G. Proc. Int. Conf. on Application of Ion Beams to Metals (Albuquerque, USA, 1973), eds. Picraux S.T., Eer-Nisse E.P., Vook F.L., Plenum Press, 1974, p. 63.
3. Oron M., Svendsen L.G., Sorensen G. NBS Spec. Publ., N 568 (1979).
4. Ursu I. et al. Appl. Phys. Lett., 44, 188 (1984).
5. Буренков А.Ф. и др. Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей. Минск. изд-во БГУ, 1980.
6. Плешивцев Н.В. Катодное распыление. М., Атомиздат, 1968.