Письма в ЖТФ, том 17, вып. 24 26 декабря 1991 г.

07; 12

© 1991

КРУПНОГАБАРИТНЫЕ КРЕМНИЕВЫЕ ЗЕРКАЛА В СИЛОВОЙ ОПТИКЕ

В.В. Аполлонов, М.В. Гартман,
А.М. Прохоров, М.И. Рогайлин,
В.А. Шмаков, В.Д. Штинов

Повышение мощности современных лазерных установок, расширение их сферы применений в значительном ряде случаев связаны с необходимостью дальнейшего увеличения выходных апертур, входящих в них оптических элементов. Задача создания таких элементов существенно усложняется по мере расширения перечня требований, выдвигаемых реальными условиями их эксплуатации. Известно, что крупногабаритные оптические элементы при небольшом весе должны обладать высокой удельной жесткостью, иметь эффективную систему термической стабилизации, их оптическая поверхность должна сохранять первоначальную форму и высокие оптические характеристики на протяжении всего периода эксплуатации.

Одним из возможных путей решения этой задачи является создание облегченных крупногабаритных зеркал на основе многослойных композиций с сотовым заполнителем [1]. Эффективность этих композиций по сравнению с монолитным вариантом возрастает по мере ужесточения требований, налагаемых на величину допустимого искажения оптической поверхности, а применение таких зеркал в лазерной технологической установке подтвердило их высокие эксплуатационные характеристики.

Хороших результатов следует также ожидать при использовании композиционных материалов систем углерод-кремний-карбид кремния ($C-Si-SiC$), способы получения которых в достаточной степени разработаны [2]. Как показывают результаты исследований, на основе таких композиций могут быть получены структуры, существенно различающиеся по пористости и фазовому составу, что значительно расширяет область применения изготавливаемых из них оптических элементов.

В настоящей работе изучается возможность создания крупногабаритных зеркал из чистого кремния. По комплексу теплофизических и механических характеристик этот материал превосходит традиционно используемые в металлоптике бериллий, медь, алюминий и др., и его, наряду с инваром и указанной выше композицией ($C-Si-SiC$), можно отнести к наиболее перспективным. При сравнительно малом удельном весе (~ 2.4 кг/м^3), низком коэффициенте термического расширения ($\sim 3\cdot10^{-6}$ 1/град) достаточно высоком модуле упругости ($\sim 10^{11}$ н/м^2) и коэффициенте теплопро-

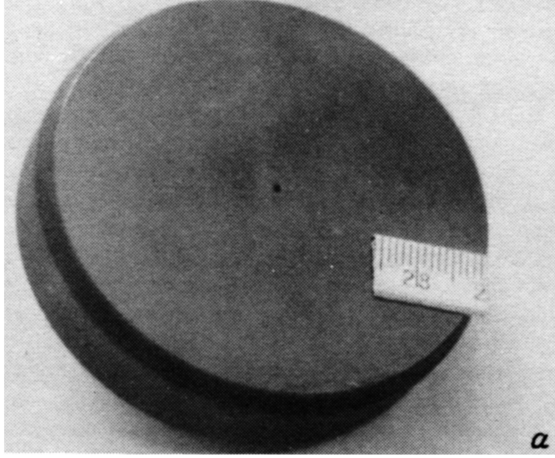
водности (~110 Вт/м град) кремний отличается высокой структурной и термической стабильностью. К настоящему времени уже разработаны и созданы различные технологии компоновки зеркал, проведены их испытания, подтвердившие перспективность использования кремния в силовой оптике.

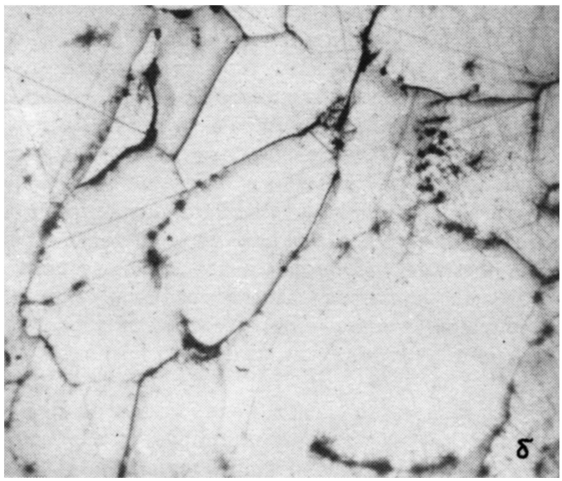
Одним из наиболее перспективных путей создания крупногабаритных оптических элементов из кремния является путь формирования больших заготовок из монокристаллических пластин методом электронно-лучевой сварки. Эта операция проводится в условиях одновременного подогрева заготовок до 800 °С, когда кремний становится пластичным. Таким способом были получены заготовки размером 400x400 мм^2. Испытания полученных на основе этой технологии модельных образцов зеркал диаметром 300 мм указывают на их высокую временную и термическую стабильность. В результате годичного хранения в лабораторных условиях изготовленного по указанной технологии образца изменения формы его оптической поверхности обнаружено не было. При тепловом нагружении с величиной потока ~250 Вт/см^2 и диаметре зоны воздействия $\varnothing$ = =90 мм искажения оптической поверхности не превышали 0.1 мкм.

Большой интерес представляет также возможность создания крупногабаритных зеркал на основе поликристаллического кремния. Одним из наиболее доступных в настоящее время способов здесь является получение значительных по своим размерам заготовок методом литья в изложницы из графита с последующей кристаллизацией. Так нами были получены заготовки толщиной 30 и диаметром 150 мм. Однако формирование крупногабаритных заготовок из кремния этим способом связано с существенными технологическими трудностями. Во-первых, необходимо создание крупных литейных форм из графита, что является самостоятельной сложной задачей; во-вторых, с увеличением размера заготовки возрастает плотность содержащихся в ней трещин, пор и других дефектов, снижающих ее качество.

Более прогрессивным, на наш взгляд, является непосредственное формирование поликристаллических кремниевых пластин на подложках из графита или композиционного материала C-Si-SiC методом электронно-лучевой плавки. Нами при создании кремниевой пластины в качестве исходного материала использовался бой монокристаллического кремния. Кремниевая шихта предварительно нагревалась до температуры 900 °С, плавление достигалось электронно-лучевым нагревом. Это позволило значительно снизить возникающие температурные напряжения и избежать растрескивания образца, приводило к снижению величины зерна. Таким образом, было показано, что с помощью такой операции можно формировать структуру поверхности, близкую к аморфной, что важно для получения поверхности высокого оптического качества.

Для проверки прочности соединения кремниевой пластины с подложкой из композита C-Si-SiC образцы подвергались термокачке - циклическому нагреву и охлаждению. После 250 циклов в диапазоне температур от 0 до 200 °С физических изменений в зоне соединения кремния и композита обнаружено не было.





Фотография оптического элемента из композиционного материала C–*Si*–*SiC* с оптической пластиной из кремния – (а) и микроструктура его поверхности при 70-кратном увеличении – (б).

После оптической доводки кремниевой пластины, полученной по указанной выше технологии, коэффициент диффузного рассеяния на длине волны λ=0.63 мкм не превышал 1 %. На рисунке приведена фотографи оптического элемента диаметром 60 мм из кремния на подложке из композита C–*Si*–*SiC* и показана микроструктура оптической поверхности при 70-кратном увеличении.

Таким образом, применение электронно-лучевой сварки монокристаллических пластин из кремния, а также локального плавления поликристаллического кремния на подложках из композиционного материала C–Si – SiC является перспективным для создания крупногабаритных элементов силовой оптики. Как показывает опыт, увеличение размеров сварных блоков и поликристаллических заготовок не представляет существенных трудностей. Отечественная промышленность уже обладает серийно выпускаемыми вакуумными камерами с внутренним диаметром $\varnothing$ =2 м. Режимы использования графитовых нагревателей и экранов пока далеки от своих предельных возможностей, задаваемых используемыми в них материалами, т.к. общий нагрев внутри камеры не превышает 900 ^{o}C, а локальное плавление зоны стыка не требует применения сложных электронно-лучевых пушек и больших энергетических затрат.

В заключение необходимо отметить, что изложенные здесь физико-технические основы создания крупногабаритных кремниевых зеркал могут быть применимы и в других областях науки и техники, например, при разработке охлаждаемых блоков оптической накачки твердотельных лазеров с высокой частотой повторения импульсов, дисков для оптической записи информации, 3-х мерной архитектуры сверхбыстродействующих вычислительных систем и т.д.

Список литературы

[1] Аполлонов В.В., Колесов В.С., Прохоров А.М., Шмаков В.А., Элкснин В.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 79–83.

[2] Аполлонов В.В., Бабаянц Г.И., Гартман М.В., Голомазов В.М., Локтионов Ю.Д., Пирогова Ю.М., Плотцев Г.В., Прохоров А.М., Шмаков В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 83–86.

Институт общей физики АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию 29 марта 1991 г.