

06.3; 07

© 1993

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
В ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХЛ.П. Г и н з б у р г, А.А. Г о р д е е в,  
А.П. Г о р ч а к о в, А.П. Ж и л и н с к и й

Ранее в ряде работ (например, [1, 2]) была обнаружена чувствительность параметров широкополосной люминесценции (ШЛ) к структурным факторам материала волоконных световодов (ВС). Так, в [2] были получены данные, свидетельствующие о зависимости спектра ШЛ от степени неупорядоченности структуры. Важнейшим показателем структурного беспорядка является концентрация дефектов. С этой точки зрения представляет собой интерес изучение характеристик ШЛ в ВС, находящихся под действием механической нагрузки. При механическом нагружении ВС в них происходят процессы, связанные непосредственно с изменением структурной упорядоченности сетки стекла, что выражается в увеличении значений длин и углов регулярных и дефектных межатомных связей, а в предельном случае, в их разрыве. Установление же корреляции между концентрацией структурных дефектов и интенсивностью ШЛ в ВС позволяет рассчитывать на использование ШЛ для контроля процессов дефектообразования в ВС в процессе их изготовления, прокладки и эксплуатации.

Исследования влияния механической нагрузки на интенсивность ШЛ в ВС впервые проводились в [3]. В исследуемом образце ВС длиной 5 м возбуждалась ШЛ с помощью излучения аргонового лазера. Было показано, что интенсивность роста максимума ШЛ пропорциональна логарифму времени воздействия приложенной механической нагрузки. Однако способ возбуждения ВС, использованный авторами [3], не позволял разделить вклады в ШЛ поверхности и объема ВС. В то же время механическая прочность образцов определяется главным образом развитием поверхностных дефектов. Поэтому в данной работе была поставлена задача выделения характеристик ШЛ, связанных с объемом и поверхностью материала ВС, и оценкой влияния механической нагрузки ВС на эти составляющие ШЛ.

Было использовано возбуждение ВС с помощью микрообъективов, позволяющих изменять угловую апертуру ввода излучения. Распределение мощности излучения в поперечном сечении ВС в зависимости от величины апертуры угла ввода варьировалось, изменяясь от 90% мощности, сконцентрированной в сердцевине (апертура угла вводимого излучения  $\sim 0.1$ ), до 70% мощности в оболочке волокна (апертура  $\sim 0.4$ ). Естественно, последний режим являлся

неравновесным и существовал лишь на протяжении нескольких метров, что, однако, было достаточно для эффективного возбуждения ШЛ в этом участке ВС с помощью импульсного азотного лазера с длительностью импульса  $\sim 7$  нс, излучающего в УФ диапазоне. Это позволило разделить объемную и поверхностную компоненты ШЛ, которые различались примерно на порядок по времени релаксации свечения (900 и 90 нс соответственно). Исследовались германосиликатные многомодовые градиентные ВС длиной 50 м (при возбуждении в них ШЛ аргоновым лазером,  $\lambda = 488$  нм) и 5 м (при возбуждении ШЛ азотным лазером,  $\lambda = 337$  нм). Крепление ВС производилось на барабанах диаметром 0.15 м при расстоянии между точками крепления от 5 до 25 м. Механическое напряжение прикладывалось к оси барабана с ВС. Для исследования подбирались отрезки ВС из партии со средней прочностью на разрыв  $\sim 3-4$  ГПа, не имеющие поверхностных дефектов, визуально наблюдаемых по рассеянию лазерного света, проходящего через волокно.

Зависимость интенсивности ШЛ в области  $\lambda_{шл} \approx 750$  нм от механической растягивающей нагрузки, меняющейся от 0 до 3.0 ГПа, показаны на рис. 1, а. Для объемной компоненты ШЛ кривые, связанные с возбуждением излучениями с  $\lambda = 488$  нм и  $\lambda = 337$  нм, практически совпадают. Интенсивность объемной ШЛ растет линейно с ростом механической нагрузки вплоть до критического ее значения ( $\sigma_c$ ), за которым начинается разрушение образца. Идентичность этих кривых при возбуждении ШЛ разными источниками свидетельствует о единой природе объемных дефектов, ответственных за свечение. Однако для поверхностной компоненты ШЛ (при возбуждении излучением  $\lambda = 337$  нм) наклон кривой заметно меняется. Измеренные спектры поверхностной и объемной люминесценции весьма близки. Поэтому обнаруженный эффект, видимо, связан в первую очередь с увеличенной скоростью образования поверхностных дефектов. К аналогичному заключению приводят результаты измерения влияния времени действия растягивающей механической нагрузки на интенсивность ШЛ (рис. 2). Как видно из рисунка, под действием нагрузки интенсивность ШЛ в начальный момент увеличивается скачком. Далее наблюдается рост интенсивности свечения до момента разрушения ВС. Интересно, что после снятия механического напряжения, даже в начальный момент времени, интенсивность ШЛ остается большей, чем перед растяжением ВС. Это указывает на необратимость процесса развития микродефектов в ВС под действием нагрузки.

Приведенные результаты позволяют выполнить некоторые оценки, используя термофлуктуационную теорию прочности (см., например, [4]). В соответствии с ней, долговечность материала под нагрузкой определяется формулой

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

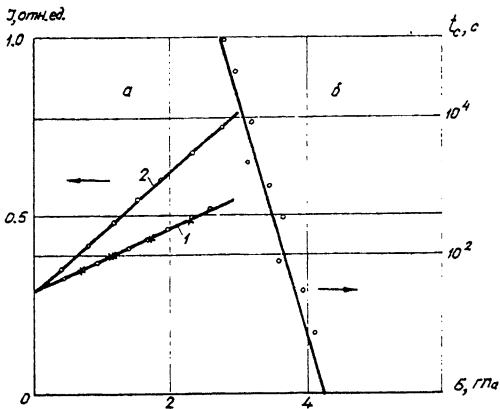


Рис. 1. а – зависимость интенсивности ШЛ от величины растягивающей механической нагрузки. 1 – объемная ШЛ, 2 – поверхностная ШЛ; б – зависимость долговечности ВС от величины растягивающей механической нагрузки.

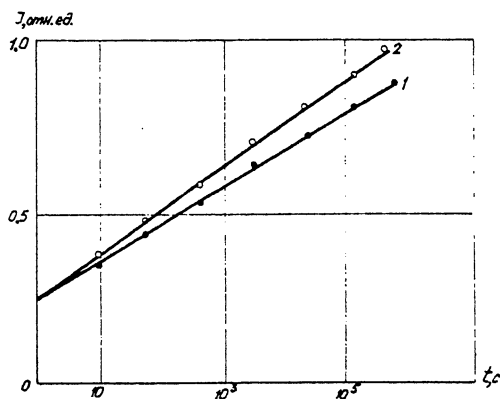


Рис. 2. Зависимость интенсивности объемной (1) и поверхностной (2) ШЛ от времени действия растягивающей нагрузки величиной 2 ГПа ( $\lambda_{ШЛ} = 750$  нм).

где  $t_0$  – постоянная времени,  $\sigma$  – растягивающее напряжение,  $T$  – температура,  $k$  – постоянная Больцмана,  $\gamma = \bar{V}_A \cdot \beta$  – структурный коэффициент, в котором  $\bar{V}_A$  – флуктуационный объем, равный для кварцевого стекла  $0.33 \cdot 10^{-22}$  см<sup>3</sup> [4],  $\beta$  – коэффициент концентрации напряжения в вершине разрушающей микротрещины.

Если энергия активации процесса разрушения – константа, то в координатах  $\lg t - \sigma$  уравнение долговечности изображается прямой. Такая зависимость действительно получается и для исследо-

ванных ВС (рис. 1, б). Точки на рисунке соответствуют разрывным напряжениям для испытанных образцов. Принимая  $\tau_0 = 3.3 \times 10^{-14}$  с (для стекол в высокопрочном состоянии и при отсутствии микротрещин, когда  $\beta = 1$ ), находим, что энергия активации  $\epsilon_A \approx 1.8$  эВ. Это ниже энергии разрыва изолированной Si-O связи (5.6 эВ) и свидетельствует о том, что поверхностный активационный процесс в ВС идет быстрее, чем объемный (ср. с рис. 2). Таким образом, измерение параметров ШЛ создает метрологические предпосылки определения кинетики образования поверхностных и структурных дефектов в ВС.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Трунилина О.В., Ачиллов М.Ф., Захидов Э.А. // ДАН УзбССР. 1987. В. 2. С. 27-29.
- [2] Гордеев А.А., Горчаков А.П., Жилинский А.П. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 66. В. 3. С. 662-664.
- [3] Ачиллов М.Ф., Караман Е.Н., Трунилина О.В. // ДАН УзбССР. 1987. В. 1. С. 29-31.
- [4] Регель В.С., Слуккер А.И., Томашевский Э.Е. // Кинетическая природа прочности твердых тел. 1974. С. 560.

Московский технический  
университет связи и информатики

Поступило в Редакцию  
17 марта 1993 г.