

ратной стороной. При этом светлые области соответствуют правоциркулярной поляризации. Как и следовало ожидать, полученные картины взаимодополнительны.

В заключение следует отметить, что зонные пластины анизотропного профиля могут быть использованы в качестве фокусирующих систем, производящих одновременно и поляризационный анализ при исследовании различных объектов, в том числе астрономических, в задачах оптической обработки информации и в различных прикладных применениях.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В у д Р. Физическая оптика. Л.; М.: ОНТИ, 1936. 895 с.
- [2] К о л ь е р Р., Б е р к х а р т К., Л и н Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. 686 с.
- [3] К а к и ч а ш в и л и В.И. // ЖПС. 1976. В. 6. С. 1091-1094.
- [4] Ш а т а л и н И.Д., К а к и ч а ш в и л и В.И., К а к и ч а ш в и л и Ш.Д. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 17. С. 1051-1055.
- [5] К а к и ч а ш в и л и Ш.Д., Ш а в е р д о в а В.Г. // Журнал научн. и прикл. фотографии и кинематографии. 1979. Т. 24. № 5. С. 342-345.
- [6] Л а н д с б е р г Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 920 с.
- [7] Ш е р к л и ф ф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. 264 с.

Институт кибернетики
АН Грузинской ССР

Поступило в Редакцию
15 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

06.3

О ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛОС В СПЕКТРАХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СТРУКТУР $Si-SiO_2$

А.П. Б а р а б а н, И.В. К л и м о в,
Н.И. Т е н о ш в и л и, Э.Д. У с е и н о в,
В.В. Б у л а в и н о в

Спектральная зависимость электролюминесценции (ЭЛ), наблюдаемой в структурах $Si-SiO_2$, может определяться как составом и строением окисного слоя, так и условиями ее возбуждения [1, 2]. Цель настоящей работы заключалась в изучении зависимости вида спектрального распределения структур $Si-SiO_2$ от напряженности электрического поля в окисном слое.

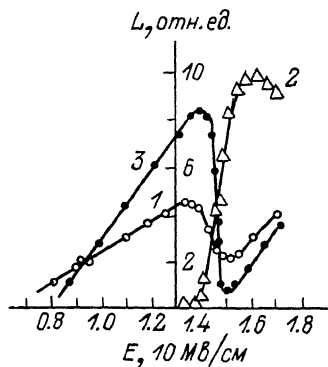


Рис. 1. Полевые зависимости электролюминесценции структур Si-SiO₂ 1-3: полосы 2,3, 2,7, 4,6 эВ.

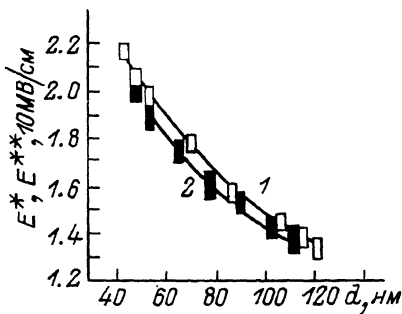


Рис. 2. Зависимости величины критических полей E^* (1) и E^{**} (2) от толщины окисного слоя.

Исследовались структуры, полученные термическим окислением кремния КДБ-7.5 (100) в сухом кислороде при температуре 1000 °С. Толщина диэлектрического слоя контролировалась эллипсометрически и составляла 25-180 нм. Спектры ЭЛ регистрировались в диапазоне 250-800 нм в системе электролит-диэлектрик полупроводник при анодной ("+" на кремнии) поляризации образцов и комнатной температуре. Методика измерений описана в работах [1, 2].

Известно, что спектральное распределение ЭЛ структур Si-SiO₂ содержит набор характеристических полос излучения, причем возбуждение высокоэнергетических полос (2.3, 2.7, 3.3, 3.8 и 4.6 эВ) обусловлено взаимодействием разогретых в окисном слое электронов с дефектами этих структур [1, 2]. Для выяснения особенностей полевой зависимости ЭЛ структур Si-SiO₂ в настоящей работе проводилось измерение спектров в широкой области полей с последующим разбиением их на элементарные полосы [1, 3]; затем были построены зависимости интенсивности каждой полосы от напряженности электрического поля в окисле.

На рис. 1 представлены полевые зависимости ЭЛ для двух полос из видимой (2.3 и 2.7 эВ) и одной из ультрафиолетовой (4.6 эВ) областей спектра; изменения интенсивности полос 3.3 и 3.8 эВ аналогичны изменениям последней. Из рисунка видно, что свечение в полосах 2.3 и 4.6 эВ регистрируется, начиная (при данной толщине окисла, $d = 110$ нм) с полей $E \approx 7-8$ МВ/см; его интенсивность, пройдя через максимум, падает при $E \approx 14$ МВ/см. Одновременно в тех же полях наблюдается появление и резкий рост ЭЛ в полосе 2.7 эВ. При дальнейшем увеличении электрического поля в SiO₂ происходит стабилизация (а в ряде случаев и уменьшение) интенсивности полосы 2.7 эВ и постепенное восстановление свечения в полосах 2.3 и 4.6 эВ. Полученные результаты свидетельствуют о существ-

венном перераспределении интенсивности полос ЭЛ при наличии в окисном слое определенного характеристического поля $E^{**} \approx 14-15$ МВ/см. Аналогичное поведение спектров наблюдалось в случае структур $Si-SiO_2$ с другими значениями толщины окисного слоя (и другими значениями E^{**}) при условии $d \geq 40-50$ нм.

Для установления механизмов, ответственных за перераспределение интенсивности полос ЭЛ, и выяснения физического смысла поля E^{**} результаты настоящего исследования были сопоставлены с данными работы [4]. В последней на основании анализа изменений формы вольт-амперных характеристик структур $Si-SiO_2$ в зависимости от толщины окисного слоя было обнаружено существование характеристического поля (E^*). Это минимальное значение поля, при котором электроны, инжектированные в SiO_2 со стороны внешнего контакта, разогреваются в окисле до значений, достаточных для генерации (путем ударной ионизации) электронно-дырочных пар вблизи границы $Si-SiO_2$. Полученная толщинная зависимость описывалась соотношением $E^* = (7,5 \pm 0,5) \cdot 10^6 + 76/d$ [В/см] [4].

На рис. 2 представлены зависимости характеристических полей E^* , E^{**} от толщины окисного слоя. Совпадение вида этих кривых дает основание предполагать, что появление свечения в полосе 2,7 эВ является результатом развития в окисле ударной ионизации матрицы SiO_2 , а характеристическое поле E^{**} соответствует порогу ее появления. В рамках этого предположения наблюдаемое перераспределение интенсивности полос ЭЛ при $E^{**} \approx E^*$ объясняется изменением условий их возбуждения вследствие изменения концентрации горячих носителей заряда в окисном слое вблизи границы $Si-SiO_2$ из-за начала в этой области процесса ударной ионизации, т.е. вследствие подключения дополнительного канала диссипации энергии горячих электронов, и указывает, что область локализации центров, ответственных за люминесценцию в полосах 2,3 и 4,6 эВ, расположена в непосредственной близости от межфазовой границы и/или в кремнии.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO_2 на кремнии. Л.: ЛГУ, 1988. 304 с.
- [2] Барабан А.П., Коноров П.П., Кручинин А.А. // Вестник ЛГУ. 1984. № 16. С. 93-97.
- [3] Барабан А.П., Климов И.В., Коноров П.П. Электролюминесценция как метод исследования свойств тонких диэлектрических слоев на поверхности полупроводников // Электронные процессы на поверхности / Под ред. О.М. Артамонова. Л., 1988 (Вопросы электроники твердого тела; в. 10). С. 98-108.
- [4] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 5. С. 806-809.

Ленинградский государственный университет

Поступило в Редакцию
29 мая 1989 г.