

СВЕТОВОЙ ОТЖИГ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

С.Н. Максимовский, Э.Л. Нолле, А.Е. Петров, С.А. Ботнев

УДК 539.211

Из исследований поверхности эпитаксиальных слоев арсенида галлия методами электронной Оже-спектроскопии, дифракции медленных электронов и фотоэлектронной эмиссии следует, что наиболее эффективно рекристаллизация аморфизированной поверхности происходит при совместном воздействии излучения ксеноновой лампы и нагрева пещью сопрогрева.

Цель данной работы — исследовать влияние электромагнитного излучения на рекристаллизацию приповерхностной области. В качестве объекта исследования выбран арсенид галлия, потому что в этом материале, в отличие от соединений II-VI , IV-VI [1,2,3], механизм испарения дефектного слоя маловероятен, так как при нагреве арсенид галлия диссоциирует, что приводит к нарушению стехиометрии материала.

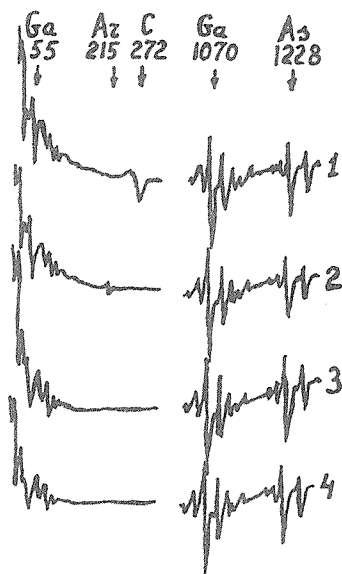
Арсенид галлия оказался удобен также и тем, что о качестве рекристаллизованной приповерхностной области можно судить по величине фотоэлектронной эмиссии ϕ с активированной цезием и кислородом поверхности [4,5]. Для этого проводились сравнения первоначально полученной величины ϕ от исходной поверхности, которая подвергалась только высоковакуумному прогреву при 620°C в течение трех минут для очистки от кислорода, с величиной ϕ , полученной на тех же самых образцах соответственно после аморфизации поверхности бомбардировкой ионами аргона с энергией 2,5 кэВ с последующим отжигом.

Исследовались эпитаксиальные слои толщиной около 30 мкм, выращенные из жидкой фазы на подложке GaAs с ориентацией (100). Слои были легированы Ge, при этом концентрация дырок составляла 10^{19} см^{-3} . Диффузионная длина неосновных носителей составляла несколько микрон.

Атомный состав поверхности определялся из анализа Оже-спектров методом, описанным в работе [4]. Кроме величины ϕ , о совершенстве кристаллической структуры поверхности может свидетельствовать также интенсивность рефлексов, получаемых на экране при ДМЭ. Измерения Оже-спектров, ДМЭ, величины ϕ , а также бомбардировка ионами и отжиг при помо-

щи нагрева пещью сопротивления проводились в безмасляном вакууме 10^{-10} торр на установке LAS-600 фирмы "Riber". Световой отжиг поверхности непрерывным излучением ксеноновой лампы мощностью 100 Вт/см^2 проводился в атмосфере водорода на установке "Уран-1", что было связано с отсутствием в установке LAS-600 оптического окна для ультрафиолетовой части спектра, а также с большой мощностью излучения ксеноновой лампы.

Анализ Оже-спектров показал, что на исходной поверхности образцов после высоковакуумного прогрева при $t = 620^\circ \text{C}$ в течение трех минут отсутствовали посторонние примеси, за исключением углерода, концентрация которого составляла примерно 0,25 монослоя, а атомный состав приповерхностной области был близок к стехиометрическому, так что соотношение Ga и As составляло $A_{\text{Ga}}/A_{\text{As}} = 1$ (рис. 1, спектр 1). При этом наблюдалась ДМЭ с относительно слабыми рефlekсами, что может быть связано с наличием углерода на поверхности. После активировки такой поверхности цезием и кислородом интегральная величина фотоэмиссии составляла $\phi = 800 \text{ мкА/лм}$ и была близка к известным из литературы наибольшим зна-



Р и с. 1. Оже-спектры поверхности: 1 — после высоковакуумного прогрева; 2 — после бомбардировки ионами Ag^+ ; 3 — после отжига пещкой сопротивления; 4 — после светового отжига

чениям ϕ равным 1000-1300 мкА/лм для GaAs, легированного Ge.

Затем поверхность образцов подвергалась бомбардировке ионами Ar^+ с энергией 2,5 кэВ и плотностью тока 1 мкА/см² в течение 1 часа. Такая обработка приводила к полному удалению с поверхности углерода, цезия и кислорода, появлению имплантированного аргона, а также к нарушению стехиометрии (уменьшению концентрации мышьяка, так что $A_{Ga} = 1,2A_{As}$) (рис. 1, спектр 2). Рефлексы ДМЭ при этом полностью отсутствовали, что свидетельствовало об аморфизации поверхности. Также не наблюдалось заметной фотоэмиссии электронов с аморфной поверхности при ее активации цезием и кислородом.

Поэтому после бомбардировки образцы отжигались при нагреве пещью сопротивления в той же самой высоковакуумной камере при 500 °С в течение 1 часа, что приводило к испарению аргона и появлению ДМЭ. При этом, несмотря на чистую поверхность (рис. 1, спектр 3), рефлексы ДМЭ были сравнительно слабыми. После активировки таких образцов фотоэлектронная эмиссия уменьшалась примерно на порядок по сравнению с ϕ до бомбардировки и не превышала 100 мкА/лм, несмотря на то, что использовались различные режимы отжига, при которых температура менялась от 400 °С до 550 °С, а время отжига от 0,5 до 5 часов. Однако высоковакуумный прогрев при 500 °С в течение 1 часа после ионной бомбардировки был достаточен для того, чтобы образцы можно было перенести через атмосферу в установку "Уран-1". В этой установке поверхность образцов была подвергнута совместному нагреву излучением ксеноновой лампы с длиной волны 0,2-1,2 мкм, световой поток которой составлял ~ 100 Вт/см² и пещью сопротивления при температуре 500 °С в течение 1 часа.

После такой обработки величина фотоэлектронной эмиссии восстанавливалась до первоначального значения, равного $\phi = 800$ мкА/лм. Состав поверхности, оцененный из измерений Оже-спектров, также восстанавливался до первоначального стехиометрического состава, так что $A_{Ga}/A_{As} = 1$ (рис. 1, спектр 4). В ДМЭ наблюдались резкие рефлексы, соответствующие грани (100) при малой энергии электронов $E = 43$ эВ, при которой они отражаются от верхних монослоев.

Эти данные свидетельствуют о том, что наиболее эффективно рекристаллизация аморфной поверхности происходит при совместном воздействии излучения ксеноновой лампы, спектр излучения которой близок к солнечному, и нагрева пещью сопротивления. Нарушение кристаллической структуры под действием ионов аргона с энергией 2,5 кэВ происходит на глубине порядка 10^{-6} см. На этой же глубине поглощается значительная часть света ксеноновой лампы, так как коэффициент поглощения арсенида гал-

лия в основной полосе составляет 10^5 - 10^6 см^{-1} . При воздействии светового излучения в приповерхностном нарушенном слое возникают неравновесные носители. Однако плазменная модель рекристаллизации, предложенная в работе /6/, вряд ли ответственна за этот процесс, так как в этом случае концентрация неравновесных носителей должна быть порядка 10^{21} - 10^{22} см^{-3} . В проведенных исследованиях при поглощении светового потока ~ 100 Вт/ см^2 , времени жизни неравновесных носителей в исследованных образцах порядка 10^{-9} с и диффузионной длине 10^{-4} см концентрация неравновесных носителей не превышает 10^{16} см^{-3} , что значительно меньше равновесной концентрации носителей заряда.

С другой стороны, в работе /7/ впервые было обнаружено, что под действием слабых потоков ультрафиолетового излучения скорость роста эпитаксиальных пленок кремния увеличивается приблизительно на 10%, а в работах /1,8/ показано, что при больших световых потоках ~ 15 Вт/ см^2 скорость роста пленок соединений II-VI, IV-VI увеличивается на порядок, что обусловлено активацией процессов диффузии и миграцией атомов по поверхности под действием светового излучения. По-видимому, аналогичный процесс имеет место при световом отжиге аморфизированной поверхности.

Поступила в редакцию 10 ноября 1983 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.N. Maximovsky et al., *Revue de Physique Appliquee*, 12, 161 (1977).
2. J.P. Hirth, G.M. Pound, *J. Phys. Chem.*, 26, 1216 (1957).
3. J.P. Hirth, G.M. Pound, *J. Phys. Chem.*, 64, 619 (1960).
4. Э.Л. Нолле и др., *ФТТ*, 23, 2752 (1981).
5. Э.Л. Нолле и др., *ФТТ*, 24, 2595 (1982).
6. J. van Vechten, P.O. Vox, A.D. Compaan, *Solid State Com.*, 39, 867 (1981).
7. M. Kumagawa et al., *Japan. J. Appl. Phys.*, 7, 1332 (1968).
8. S.N. Maximovsky, S.P. Revocatova, M.A. Selezneva, *J. Crystal Growth*, 52 141 (1981).