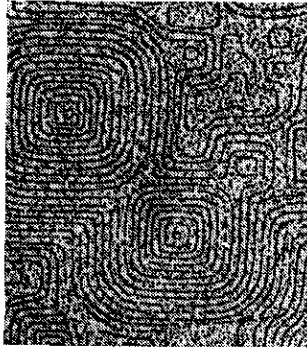


пие немногочисленных вакансий, снижающее эту энергию, не может дать начала новому атомному слою, а концентрация атомов в местах, соответствующих узлам решётки следующего слоя, повышает энергию и поэтому мала. В результате необратимое присоединение частиц к кристаллу, т. е. его рост, возможен только когда на его поверхности есть изломы. На шероховатых поверхностях плотность изломов велика, и рост вдоль нормали к поверхности возможен практически в любой точке. Та-

Рис. 7. Концентрические ступени на грани (100) NaCl при росте из молекулярного пучка. Высота ступени 2,82 Å (денорированы мелкими кристалликами специально осажённого золота).



кой рост наз. нормальным. Он лимитируется скоростью присоединения отд. частиц к изломам. Его скорость R линейно увеличивается с переохлаждением на фронте K :

$$R = \beta_n \Delta\mu / kT, \quad \beta_n = (a/\lambda_0)^2 a v \exp(-\mathcal{E}_A / kT). \quad (1)$$

Здесь a — межатомное расстояние, λ_0 — расстояние между изломами, v — эффективная частота тепловых колебаний, \mathcal{E}_A — энергия, необходимая для присоединения частиц к излому (энергия активации). Она учитывает перестройку ближнего порядка в жидкости, десольватацию строит. частиц и изломов в растворах, хим. реакции и т. д. В простых расплавах коэф. β_n велики, что

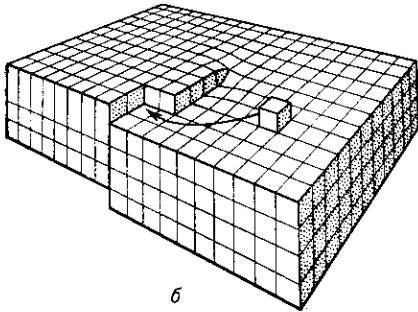
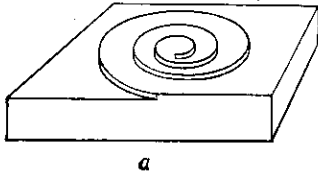


Рис. 8. *a* — спиральная форма роста; *б* — ступень, оканчивающаяся на поверхности в точке её пересечения винтовой дислокации.

обеспечивает рост с заметной скоростью, когда переохлаждение на фронте K . $\Delta T \ll 1K$. Так, для роста Si $\beta_n \approx 10^6$ см/с $R = (3-5) \cdot 10^{-3}$ см/с достигается при $\Delta T \approx 10^{-5}$ К. При достаточно низких темп-рах подвижность частиц падает и скорость роста уменьшается, подобно скорости зарождения (рис. 5, б).

Если поверхность гладкая, то изломы существуют только на ступенях, рост идёт последоват. отложением слоёв и наз. послойным. Если поверхность образована лестницей одинаковых ступеней и в среднем отклонена от ближайшей сингулярной грани на угол с тангенсом p , то ср. скорость её роста вдоль нормали к этой сингулярной ориентации

$$R = pv; \quad v = \beta_t \Delta\mu / kT,$$

где v — скорость роста ступени вдоль грани, $\beta_t \approx \beta_n$. (В растворах $\beta_t \approx 10^{-1} - 10^{-3}$ см/с.)

Плотность ступеней определяется тем, генерируются ли они двумерными зародышами или *дислокациями*. Образование двумерных зародышей требует преодоления потенциального барьера, высота к-рого пропорциональна линейной энергии ступеней и обратно пропорциональна ΔT . Соответственно, скорость K экспоненциально мала при малых ΔT [для роста грани (11) Si с $R = (3-5) \cdot 10^{-3}$ см/с необходимо $\Delta T \approx 0,3K$; см. выше]. При K из молекулярных пучков, если есть места преимущественного образования двумерных зародышей, ступени имеют вид замкнутых колец (рис. 7). Возможно, что образование зародышей «облегчается» точками выхода на поверхность краевых дислокаций.

При росте на винтовой дислокации, образуемая ею ступень в процессе роста приобретает спиральную форму (рис. 8), т. к. в точке окончания ступени на дислокации её скорость роста равна 0. В процессе спирального роста новый слой «накручивается» сам на себя вокруг точки выхода дислокации и на поверхности возникает пологий (вициальный) холмик роста. Часто холмики образуются группой дислокаций, суммарный вектор Бюргера к-рых имеет в направлении нормали к поверхности составляющую b , равную нек. параметрам a решётки. Точки выхода этих дислокаций могут занимать на поверхности некоторую область (с перимет-

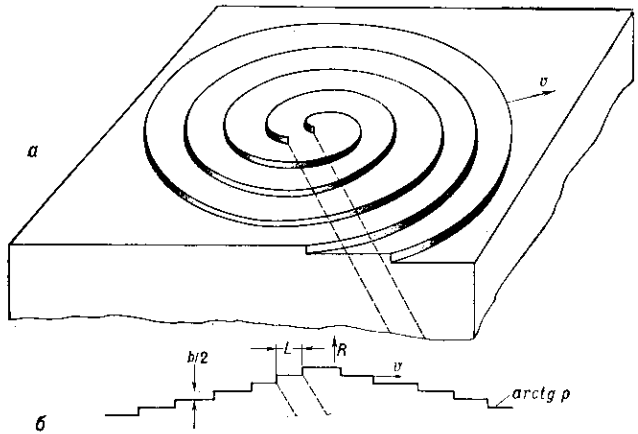
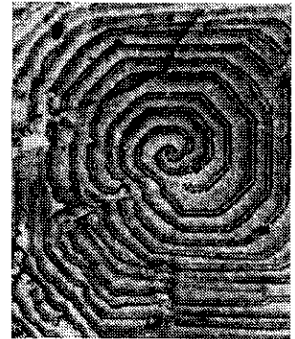


Рис. 9. Двухзаходная спираль, образующая вициальный холмик вокруг точек выхода на поверхность двух дислокаций: *a*) общий вид холмика; *б*) его сечение плоскостью, перпендикулярной грани и проходящей через точки выхода дислокаций; *в*) спираль на грани (100) синтетического алмаза.



ром $2L$, рис. 9, *a, в*). В этом случае склон кругового вициального холмика образует с сингулярной гранью угол с тангенсом $p = b / (19r_c + 2h)$ (рис. 9, *б*). Наклоны холмиков измеряются методами оптич. интерферометрии (рис. 10), методом цветов тонких пластинок, а иногда непосредственно визуализацией ступеней.

Радиус двумерного критич. зародыша r_c пропорционален линейной энергии ступени и обратно пропорционален ΔT . Поэтому с увеличением ΔT кругизна холмика r линейно увеличивается при малых ΔT и стремится к насыщению при больших (при $L \neq 0$). Соответственно, нормальная скорость роста R квадратично увеличивается с пересыщением σ при малых переохлаждениях и линейно — при больших (рис. 11). Вариации вектора