В полупроводниках с вырожденными зонами типа p-Ge или p-Si Т. э. обусловлен расщеплением валентной зоны в точке $p=0$ спектра дырок $\mathscr{E}(p)$ и изменением спектра вблизи экстремума. Большой Т. э. наблюдается при всех одноосных деформациях [3].

При больших деформациях, когда относит. смещение долин в многодолинных полупроводниках или расщепление вырожденной зоны в точке $p=0$ становятся сравнимыми с kT, Т. э. становится нелинейным по деформации; при достаточно больших деформациях, когда все носители «перетекают» в ниж. экстремумы, сопротивление практически «выходит на насыщение» (перестаёт меняться). При *прыжковой проводимости* большая величина $\Delta\sigma/\sigma$ обусловлена изменением перекрытия волновых ф-ций, вызываемым изменением спектра носителей заряда.

Лит.: 1) Smith C. S., Piezoresistance in germanium and silicon, «Phys. Rev.», 1954, v. 94, p. 42; 2) Morin F. J., Geballe T. H., Herring C., Temperature dependence of the piezoresistance of high purity silicon and germanium, «Phys. Rev.», 1957, v. 105, p. 525; 3) Бир Г. Л., Пикус Г. Е., Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках, М., 1972; 4) Глаговский Б. А., Пивен И. Д., Электротензометры сопротивления, 2 изд., Л., 1972; 5) Полякова А. Л., Физические принципы работы полупроводниковых датчиков механических величин, «Акуст. ж.», 1972, т. 18, в. 1, с. 1; 6) Най Дж., Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц, пер. с англ., 2 изд., М., 1967.

Г. Е. Пикус.

ТЕНЗОРЕЗИСТОР (от лат. tensus — напряжённый и резистор) — резистор, изменяющий своё электрич. сопротивление вследствие деформации, вызываемой приложенными к нему механич. напряжениями. Осн. характеристикой материала Т. является коэф. тензочувствительности (k), определяемый как отношение относит. изменения электрич. сопротивления к величине относит. деформации. Для металлов (нихрома, константана, сплавов на основе Ni, Mo, Pt) $k=2$—14 (определяется в основном только изменением геом. размеров Т.); для полупроводников (Ge, Si и др.) $k=100$—200. Металлич. Т. изготовляют из проволоки или фольги в виде решётки, полупроводниковые Т.— в виде пластинок (длина 1—10 мм, ширина 0,2—1,0 мм, толщина 20—60 мкм) или эпитаксиальных плёнок (см. *Эпитаксия*).

Т. используются гл. обр. в качестве чувствит. элемента измерит. преобразователей (тензодатчиков), применяемых для измерения механич. напряжений, деформаций твёрдых тел, а также в преобразователях давления или механич. напряжения в электрич. сигнал, напр. в микрофонах и звукоснимателях.

Лит.: Ильинская Л. С., Подмарьков А. Н., Полупроводниковые тензодатчики, М.—Л., 1966.

А. Н. Подмарьков.

ТЕ́НЗОРНЫЙ АНА́ЛИЗ — матем. теория, изучающая объекты спец. рода — тензорные поля (см. *Тензор*).

Необходимость применения Т. а. возникает, когда для изучения того или иного физ. явления (относительно к-рого имеется полная система непротиворечивых данных для создания абстрактных моделей в матем. терминах) приходится привлекать метод координат. Координатный метод позволяет параметризовать модель при помощи конечного или бесконечного числа параметров (координат), к к-рым можно применять те или иные матем. операции. Выводы, полученные в результате этих операций над параметрами, должны иметь объективный смысл и характеризовать свойства изучаемого явления, не зависимые от использованного нами способа параметризации, т. е., как говорят, эти выводы должны быть инвариантными относительно выбора системы координат.

При изучении конкретных задач выбор системы координат не всегда безразличен. Часто благодаря удачному выбору координатной системы значительно упрощаются выкладки, соотношения приобретают простую форму, и это облегчает установление искомых свойств изучаемых объектов. Одна из гл. задач Т. а. состоит в том, чтобы найти критерии, позволяющие выявить инвариантность тех или иных выражений, составленных при помощи параметров спец. систем координат.

В физике чаще всего рассматриваются тензорные поля, зависящие от точки трёхмерного *евклидова пространства* (в механике, теории упругости, электродинамике и т. д.) либо от точки четырёхмерного псевдоевклидова пространства (см. *Минковского пространство-время*) (в теории относительности, теории поля и т. д.). Однако т. н. теорема о существовании локальных гомеоморфизмов в многомерных областях позволяет строить Т. а. на многообразиях (см. *Многообразие*) любого (конечного) числа измерений.

Физ. примерами скалярных полей, т. е. тензорных полей ранга 0, являются: темп-ра неравномерно нагретого тела, потенциал неоднородного эл.-статич. поля, плотность неоднородного тела, давление в неоднородной газовой среде. В качестве примеров векторных полей, т. е. тензорных полей ранга 1, можно рассматривать четырёхмерный вектор эл.-магн. поля или четырёхмерный вектор плотности тока.

Над тензорными полями можно осуществлять те же алгебраич. действия, что и над тензорами, имея в виду, что все тензорные поля берутся в одной и той же точке.

В Т. а. в осн. изучаются дифференц. операции над тензорными полями. При этом требуются такие обобщения этих операций, к-рые при применении к тензорным полям сохраняют их тензорную структуру.

Частные производные компонент тензорного поля по координатам x^i уже не являются, вообще говоря, тензорным полем. Это связано с тем, что при переходе от одной точки к другой изменяются не только компоненты тензора (для простоты иногда тензорное поле будем называть тензором), но и локальная координатная система, в к-рой определяются эти компоненты. Поэтому разность между «значениями» тензора в точках $(x^1+dx^1, ..., x^n+dx^n)$ и $(x^1, ..., x^n)$ не может быть определена как бесконечно малое приращение тензорного поля или его дифференциал. Вместо этого в Т. а. определяется **абсолютный дифференциал** DT тензора T с дифференцируемыми компонентами, удовлетворяющий постулатам:

1) абс. дифференциал DT является тензором того же ранга, что и T;

2) имеют место след. правила дифференцирования

$$D(A+B)=DA+DB,$$

$$D(AB)=(DA)B+A(DB),$$

где (AB) — внеш. произведение тензоров A и B. Если тензор T задаётся в *римановом пространстве* дифференцируемыми компонентами $T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q}$, то компоненты его абс. дифференциала $DT^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q}$ определяются ур-ниями

$$DT^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q}=\frac{DT^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q}}{\partial x^j}dx^j \equiv T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q, j}dx^j,$$

где $T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q, j}$ — *ковариантная производная* тензора T,

$$T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q, j}=\frac{\partial T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_q}}{\partial x^j}-\sum_{l}^{q} T^{a_1 ... a_p}_{b_1 ... b_{l-1} i b_{l+1} ... b_q}\Gamma^i_{b_l j}+$$

$$+\sum_{l=1}^{p} T^{a_1 ... a_{l-1} i a_{l+1} ... a_p}_{b_1 ... b_q}\Gamma^{a_l}_{ij},$$

здесь Γ^i_{jk} — *Кристоффеля символы* второго рода, связанные с метрич. тензором след. образом:

$$\Gamma^k_{ij}=\frac{1}{2}g^{kl}\left(\frac{\partial g_{il}}{\partial x^j}+\frac{\partial g_{jl}}{\partial x^i}-\frac{\partial g_{ij}}{\partial x^l}\right).$$

Отметим, что сами символы Кристоффеля не являются тензорами.

Нахождение ковариантной производной наз. ковариантным дифференцированием. Ковариантная производная тензорного поля образует тензорное поле, имеющее на один ковариантный индекс больше, чем исходное поле. Напр., если $t_i(x^1, ..., x^n)$ — ковариантное тензорное поле ранга 1, т. е. ковариантное векторное поле, то ковариантная производная этого тензора

$$t_{i,j}=\frac{\partial t_i}{\partial x^j}-\Gamma^k_{ij}t_k$$