ющая структура создаётся *фотолитографией* или методами *ионной имплантации*.

Считывание информации производится при помощи магниторезистивного датчика: проходящий через детектор ЦМД своим магн. полем изменяет электрич. сопротивление магн. плёнки детектора.

Построение запоминающих устройств возможно также на ЦМД-решётках. Поскольку ЦМД-решётка не может иметь вакансий, то информация представляется не самими ЦМД, а кодовыми состояниями их границ. В практич. схемах для представления двоичной информации используются ЦМД с простой блоховской границей ($S=1$) и двумя ВБЛ ($S=0$).

Для записи информации используются также неподвижные ЦМД, образующиеся под действием лазерного импульса в высококоэрцитивных магн. плёнках (напр., в аморфных плёнках интерметаллич. соединений редкоземельных и переходных металлов типа Tb—Fe, Gd—Co, Tb—Fe—Co и т.д.). Они применяются в разработанных в сер. 1980-х гг. магнитооптич. дисках, обладающих большой плотностью записи информации (10^7 бит/см^2) и высоким быстродействием.

Лит.: Бобек Э., Делла Торре Э., Цилиндрические магнитные домены, пер. с англ., М., 1977; Эшенфельдер А., Физика и техника цилиндрических магнитных доменов, пер. с англ., М., 1983; О'Делл Т., Ферромагнитодинамика, пер. с англ., М., 1983; Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. Справочник, под ред. Н. Н. Евтихиева, Б. Н. Наумова, М., 1987.

А. К. Звездин, Г. В. Сайко.

ЦИЛИНДРИ́ЧЕСКИЕ ФУ́НКЦИИ (функции Бесселя) — решения $Z_\nu(z)$ ур-ния Бесселя

$$z^2\frac{d^2Z}{dz^2}+z\frac{dZ}{dz}+(z^2-\nu^2)Z=0, \tag{1}$$

где параметр (индекс) ν — произвольное действительное или комплексное число. В приложениях чаще встречается ур-ние, зависящее от четырёх параметров:

$$v''+\frac{1-2\alpha}{z}v'+\left(\beta^2\gamma^2z^{2\gamma-2}+\frac{\alpha^2\nu^2\gamma^2}{z^2}\right)v=0, \tag{2}$$

решения к-рого выражаются через Ц. ф.: $v(z)=z^\alpha Z_\nu(\beta z^\gamma)$. Среди ур-ний (2) содержится ур-ние $v''-zv=0$, к-рое порождает *Эйри функции*.

Ц. ф. произвольного порядка. Если ν не является целым числом, то общее решение ур-ния (1) имеет вид

$$Z_\nu(z)=c_1J_\nu(z)+c_2J_{-\nu}(z),$$

где c_1 и c_2 — постоянные, J_ν и $J_{-\nu}$ — ф-ции Бесселя 1-го рода (или Ц. ф. 1-го рода, рис. 1, *а*). Если ν — целое, то J_ν и $J_{-\nu}$ линейно зависимы. Поэтому наряду с $J_\nu(z)$ вводят ф-ции Бесселя 2-го рода (рис. 1, *б*) $Y_\nu(z)$ [иногда их наз. ф-циями Неймана или ф-циями Вебера и обозначают $N_\nu(z)$]:

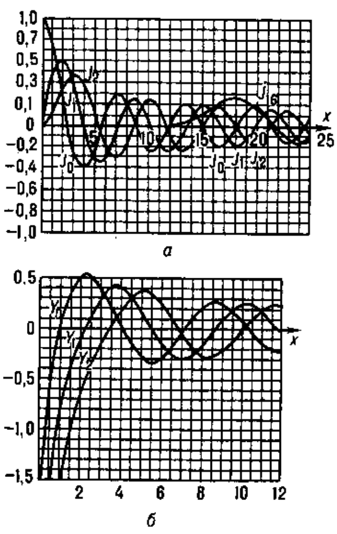

Рис. 1. Графики функций J_ν и Y_ν вещественного аргумента x для некоторых целых значений ν.

$$Y_\nu(z)=\frac{1}{\sin\pi\nu}\left[J_\nu(z)\cos\pi\nu-J_{-\nu}(z)\right].$$

При помощи этих ф-ций общее решение (1) можно всегда записать в виде

$$Z_\nu(z)=c_1'J_\nu(z)+c_2'Y_\nu(z).$$

Для приложений важны и др. решения (1) — ф-ции Бесселя 3-го рода, или ф-ции Ханкеля (Ганкеля) 1-го и 2-го рода $H_\nu^{(1)}(z)$ и $H_\nu^{(2)}(z)$:

$$H_\nu^{(1)}(z)=J_\nu(z)+iY_\nu(z),\ H_\nu^{(2)}(z)=J_\nu(z)-iY_\nu(z).$$

Связь между различными Ц. ф.:

$$J_\nu(z)=\frac{1}{2}\left[H_\nu^{(1)}(z)+H_\nu^{(2)}(z)\right],\ Y_\nu(z)=\frac{1}{2i}\left[H_\nu^{(1)}(z)-H_\nu^{(2)}(z)\right],$$

$$H_\nu^{(1)}(z)=\frac{J_{-\nu}(z)-e^{-i\pi\nu}J_\nu(z)}{i\sin\pi\nu},\ H_\nu^{(2)}(z)=\frac{e^{i\pi\nu}J_\nu(z)-J_{-\nu}(z)}{i\sin\pi\nu},$$

$$Y_\nu(z)=\frac{\cos\pi\nu J_\nu(z)-J_{-\nu}(z)}{\sin\pi\nu},\ J_{-n}(z)=(-1)^nJ_n(z)$$

$$(n=0,\ 1,\ 2,\ \ldots),$$

$$H_{-\nu}^{(1)}(z)=e^{i\pi\nu}H_\nu^{(1)}(z),\ H_{-\nu}^{(2)}(z)=e^{-i\pi\nu}H_\nu^{(2)}(z).$$

Разложения в ряды:

$$J_\nu(z)=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k(z/2)^{\nu+2k}}{k!\Gamma(\nu+k+1)},$$

$$H_n^{(1,2)}(z)=J_n(z)\pm\frac{i}{\pi}\left\{2J_n(z)\ln\frac{z}{2}-\sum_{k=0}^{n-1}\frac{(n-k-1)!}{k!}\left(\frac{z}{2}\right)^{2k-n}-\right.$$

$$\left.-\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k(z/2)^{n+2k}}{k!(n+k)!}\left[\psi(n+k+1)+\psi(k+1)\right]\right\},$$

$$Y_n(z)=\frac{1}{\pi}\left\{2J_n(z)\ln\frac{z}{2}-\sum_{k=0}^{n-1}\frac{(n-k-1)!}{k!}\left(\frac{z}{2}\right)^{2k-n}-\right.$$

$$\left.-\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k(z/2)^{n+2k}}{k!(n+k)!}\left[\psi(n+k+1)+\psi(k+1)\right]\right\};$$

при $n=0$ первую из сумм следует полагать равной нулю, ψ — логарифмическая производная гамма-функции, $\psi(1)=\Gamma'(1)=-\gamma$, постоянная Эйлера $\gamma=0{,}577215$.

Интегральные представления Пуассона для ф-ций Бесселя 1-го рода $J_\nu(z)$ и ф-ций Ханкеля $H_\nu^{(1,2)}(z)$ при $\mathrm{Re}\,\nu>-\frac{1}{2}$:

$$J_\nu(z)=\frac{(z/2)^\nu}{\sqrt{\pi}\,\Gamma(\nu+1/2)}\int_{-1}^{1}(1-t^2)^{\nu-1/2}\cos zt\,dt,$$

$$H_\nu^{(1)}(z)=\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\frac{\exp[i(z-\pi\nu/2-\pi/4)]}{\Gamma(\nu+1/2)}\int_0^\infty e^{-t}t^{\nu-1/2}\times$$

$$\times\left(1+\frac{it}{2z}\right)^{\nu-1/2}dt,$$

$$H_\nu^{(2)}(z)=\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\frac{\exp[-i(z-\pi\nu/2-\pi/4)]}{\Gamma(\nu+1/2)}\int_0^\infty e^{-t}t^{\nu-1/2}\times$$

$$\times\left(1-\frac{it}{2z}\right)^{\nu-1/2}dt.$$

Интегральные представления Зоммерфельда:

$$J_\nu(z)=\frac{1}{2\pi}\int_{C_1}\exp(iz\sin\varphi-i\nu\varphi)\,d\varphi,$$